

міністерство ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В.А. Ковальов, А.Ю. Гаврушкевич, Н.В. Гаврушкевич

ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ВИРОБНИЦТВА: ВЕРСТАТИ З ЧИСЛОВИМ
ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ:
ПРОГРАМУВАННЯ В СИСТЕМІ
HEIDENHAIN TNC 640

*Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю
131 «Прикладна механіка» спеціалізацією «Технології комп'ютерного
конструювання верстатів, роботів та машин» та спеціальністю
133 «Галузеве машинобудування» спеціалізацією «Металорізальні
верстати та системи»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Рецензенти:	Біланенко В.Г., канд. техн. наук, доцент кафедри Технології машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського Філатов Ю.Д., докт. техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля Національної Академії Наук України
Відповідальний редактор:	СТРУТИНСЬКИЙ ВАСИЛЬ БОРИСОВИЧ, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри конструювання верстатів та машин КПІ ім. Ігоря Сікорського

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 01.04.2019 р.)
за поданням Вченої ради механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 7 від 25.02.2019 р.)*

Електронне мережеве навчальне видання
*Ковальов Віктор Андрійович, канд. техн. наук, доц.
Гаврушкевич Андрій Юрійович, канд. техн. наук, доц.
Гаврушкевич Наталія Валеріївна*

ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА: ВЕРСТАТИ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ: ПРОГРАМУВАННЯ В СИСТЕМІ HEIDENHAIN TNC 640

Обладнання автоматизованого виробництва: Верстати з числовим програмним керуванням: Програмування в системі Heidenhain TNC 640 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин», спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи»/ Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

В даному навчальному посібнику подано теоретичні основи програмування в сучасній системі Heidenhain TNC 640 та практичне використання при розробці програм оброблювання конкретних деталей на фрезерних верстатах. Посібник містить загальну інформацію про програмне забезпечення TNC 640, відомості, необхідні для написання і редагування програм, інформацію про функції та форми траєкторій, програмування вільного контуру та цикли обробки. Структура і зміст навчального посібника відповідає актуальним вимогам державного освітнього стандарту вищої освіти.

Навчальний посібник «Обладнання автоматизованого виробництва: Верстати з числовим програмним керуванням: Програмування в системі Heidenhain TNC 640» призначений для підготовки бакалаврів, магістрів спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів і машин» спеціальності 131-«Прикладна механіка» та спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування», аспірантам і викладачам вищих навчальних закладів, фахівцям промислових підприємств, які займаються програмуванням верстатів з числовим програмним керуванням.

© Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В., 2019

© КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2019

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Загальна інформація про програмне забезпечення TNC 640.....	9
2.1. Пульти керування TNC 640.....	9
2.2. Режими роботи TNC 640	12
2.4. Керування файлами TNC 640.....	14
2.4.1. Ім'я та розширення файла.....	14
2.4.3. Інтерфейс файл-менеджера	15
2.4.4. Незмінні клавіші панелей і підпанелей.....	16
2.4.5. Операції з файлами	16
3. Написання і редагування програм (основні поняття).....	18
3.1. Базова система координат фрезерного верстата	18
3.2. Системи координат	19
3.3. Написання нової програми.....	21
3.4. Структура NC-програми в діалозі відкритим текстом Heidenhain	22
3.5. Засоби написання і редагування програми.....	23
3.6. Визначення параметрів заготовки	28
3.7. Визначення параметрів інструменту.....	29
3.7.1 Виклик і зміна інструменту.....	29
3.7.2 Швидкість обертання шпинделя і подача.....	31
3.7.3 Значення «дельта» для довжини і радіусу	34
3.7.4 Корекція інструменту	35
4. Програмування контурів	36
4.1. Функції траєкторій	36
4.2. Форми траєкторії для входу в контур і виходу з нього.....	40
4.3. Програмування вільного контуру FK	43
5. Цикли обробки.....	46
5.1. Цикли обробки: свердління.....	47
5.1.1. Центрування (цикл 240).....	47
5.1.2. Свердління (цикл 200)	48
5.1.3. Розвертання (цикл 201).....	50
5.1.4. Розточування (цикл 202).....	51
5.1.5. Універсальне свердління (цикл 203).....	53
5.1.6. Зворотнє зенкерування (цикл 204)	54

5.1.7. Універсальне глибоке свердління (цикл 205)	56
5.1.8. Розточувальне фрезерування (цикл 208)	58
5.1.9. Глибоке свердління рушничним свердлом (цикл 241)	59
5.2. Цикли обробки: нарізання нарізі/різьбофрезерування.....	60
5.2.1 Нарізання різьби з компенсуючим патроном (цикл 206).....	61
5.2.2 Нарізання нарізі без компенсатора gs (цикл 207, din /iso: g207)	61
5.2.4 Нарізання нарізі з ламанням стружки (цикл 209)	62
5.3. Цикли обробки: фрезерування кишень / островів / канавок.....	63
5.3.1 Прямокутні виїмки (цикл 251).....	64
5.3.2 Кругла виїмка (цикл 252)	66
5.3.3 Фрезерування канавок (цикл 253)	70
5.3.4 Кругла канавка (цикл 254).....	72
5.3.5 Прямокутний острів (цикл 256)	74
5.3.6 Круглий острів (257 Цикл)	76
5.3.7 Фрезерування площин (цикл 233)	78
Список літератури	80

1. Вступ

На даний час всесвітньо визнаними лідерами в галузі виробництва систем ЧПК є корпорація Siemens AG, компанія Heidenhain, компанія Fanuc, компанія Fagor Automation.

В межах заключеного договору між німецькою фірмою "Хайденхайн", інтереси якої в Україні представляє фірма "Гертнер Сервис ГмбХ", та кафедрою Конструювання верстатів та машин, яка представляє Механіко-машинобудівний інститут НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», створено лабораторну базу для вивчення програмування. Для забезпечення навчального процесу німецька сторона надала безкоштовно п'ять програмних станцій для програмування на верстатах з ЧПК, методичні матеріали.

Щорічно спільно з представниками фірми проводяться навчальні семінари для студентів 4-6 курсів, що зацікавлені в отриманні ексклюзивних знань і пошуку роботи. Продовжити навчання з даного напрямку і підвищити свій рівень всі зацікавлені особи можуть в навчальних центрах, що представлені в багатьох країнах світу. Фахівці – програмісти, що освоїли Heidenhain, мають широкий попит на ринку праці.

На практичних заняттях з програмування студенти отримують базові знання з особливостей програмування обробки на верстатах з ЧПК. Вивчають М-функції керування шпинделем і подачею змащувально-охолоджувальної рідини, функції контурної системи ЧПК в прямокутних і полярних координатах, в тому числі програмування вільного контуру оброблювання, виконують цикл робіт, пов'язаних з програмуванням циклів: свердління, фрезерування пазів, канавок, кишень, цапф, свердління груп отворів, циклів перетворення координат, SL-циклів, освоюють методи програмування: програмування підпрограм, повторення частин програми.

Системи числового програмного управління Heidenhain TNC (рис. 1.1) через свою багатофункціональність є ідеальними для автоматизованого виробництва. Зокрема, вони є сумісними одна з одною від самої ранньої до більш нової системи ЧПК. Тому програмісту немає необхідності

перенавчатися, а лише необхідно освоїти нові можливості більш пізньої системи.

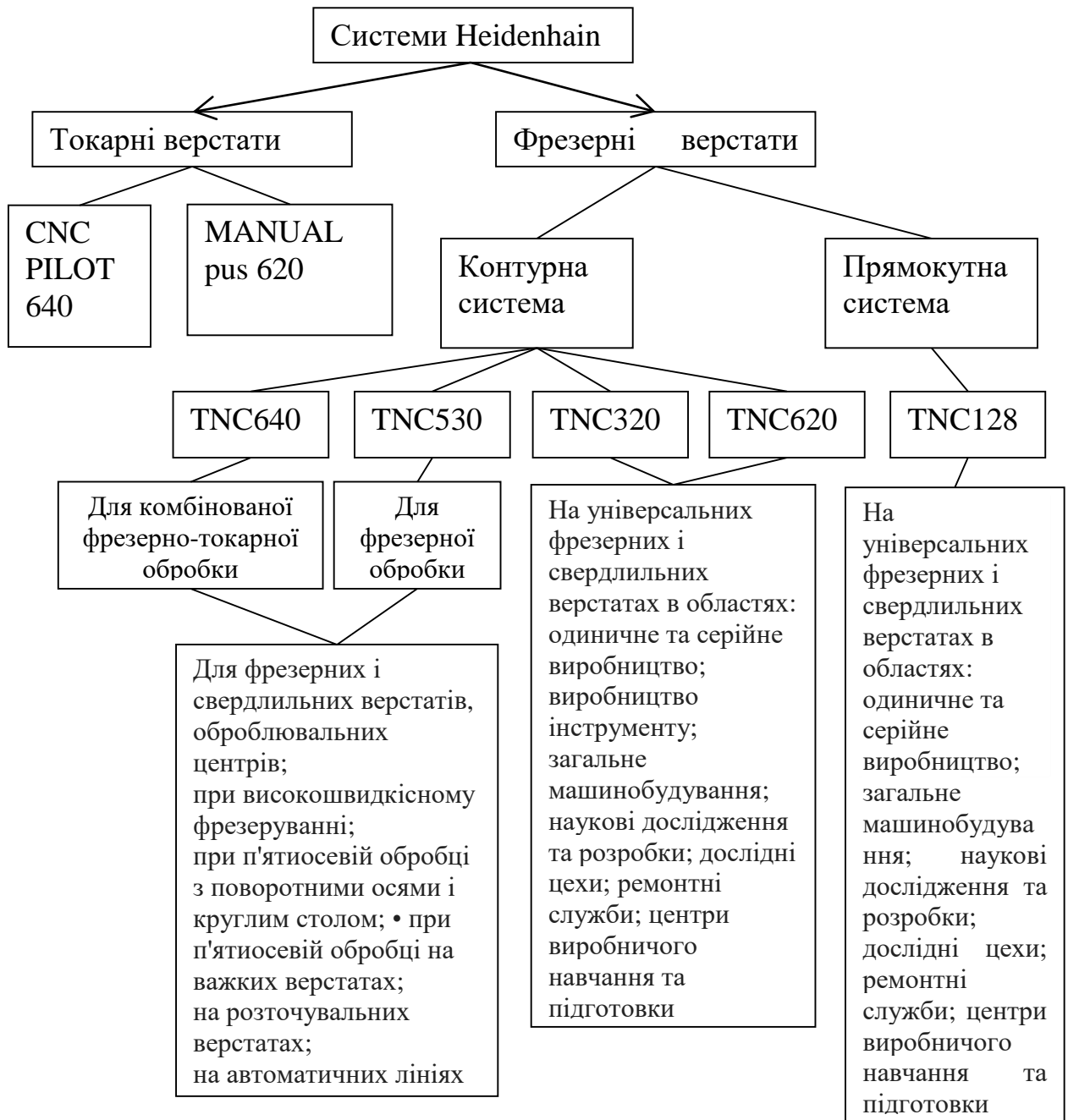


Рисунок 1.1 – Огляд систем ЧПК Heidenhain

Системи TNC640 та iTNC530 дозволяють цехове програмування. Ними можуть бути обладнані фрезерні, свердильні, розточувальні верстати, а також оброблювані центри. Система TNC640 забезпечує можливість високошвидкісного фрезерування, програмування фрезерування вільного контуру (як і в системі iTNC530), трохоїдального фрезерування.

Трохоїдальне фрезерування – це стандартна функція, що дозволяє виконувати чорнову обробку канавок і кишень, знижуючи навантаження на інструмент і верстат. В поєднанні з функцією адаптивного керування подачею AFC трохідальне фрезерування дає значне зниження часу обробки та підвищення продуктивності і рентабельності.

Система TNC640 є актуальною для безлюдного виробництва, завдяки швидкій обробці кадрів програми, що забезпечує можливість багатогодинного виконання операцій. А завдяки можливості на одному верстаті поєднувати фрезерну і токарну обробку, використання даної системи програмування дозволяє значно підвищити продуктивність.

Система TNC640 дозволяє виконувати в порівнянні з iTNC530 ряд токарних циклів. Зокрема чорнову і чистову обробку, проточку канавок, нарізання різьби, токарну обробку контура, заданого у вигляді вільного контура (FK). Цікавим нововведенням є цикл гравіювання, за допомогою якого можна заданий текст нанести на поверхню по прямій або по колу.

Системи ЧПК Heidenhain відомі широким діапазоном можливостей і обладнання.

Особливістю Системи ЧПК Heidenhain є те, що керуючі програми, які написані в більш ранніх TNC, сумісні з новими за принципом «знизу-вверх». Тобто в наступних серіях лише розширюються можливості.

Системи ЧПК Heidenhain TNC мають можливість цехового керування і віддаленого програмування. На основі літературного аналізу встановлені системи ЧПК Heidenhain TNC, які є найбільш поширеними (табл. 1.1).

Найбільш широкий набір можливостей є в системі TNC640 та iTNC530. Вони ідеальні для автоматизованого виробництва завдяки короткому часу обробки кадра і можуть бути застосовані при безлюдному виробництві.

Система iTNC530 дозволяє виконувати керування роботою п'ятиосьових складних фрезерних верстатів і оброблювальних центрів, має

можливості програмування вільного контуру (FK), що було не доступно в більш ранніх версіях.

Таблиця 1.1 - Системи ЧПК Heidenhain

Тип системи ЧПК	Тип верстатів	Керування	Серія	Програмна станція
Контурні системи ЧПК	Фрезерні, фрезерно-токарні, оброблювальні центри	До 18 осей і 2 шпинделів	TNC 640	+
	Фрезерні, оброблювальні центри	До 18 осей і 2 шпинделів	iTNC 530	+
	Фрезерні, свердлильні	До 4 осей плюс шпиндель	TNC 320	+
	Фрезерні, свердлильні	До 5 осей плюс шпиндель	TNC 620	+
Прямокутна система ЧПК	Фрезерні, свердлильні	До 4 осей і шпиндель	TNC 128	-

В системі TNC640 з'явилася нова можливість – програмування фрезерної і токарної обробки на одному верстаті або їх комбінація в одній програмі. Токарний контур можна задавати стандартними функціями або у вигляді вільного контура (FK). Наряду із токарними циклами чорнової і чистової обробки можна задавати цикли проточування канавок, нарізання різьби.

Особливістю системи TNC 640, TNC 620 та iTNC530 є опція - конвертер DXF, за допомогою якої можна відкривати CAD-дані та отримувати із них контури безпосередньо в TNC.

Всі системи, за винятком TNC 128, обладнані програмними станціями, що забезпечує можливість віддаленого керування та зменшує час простою верстата.

Дана система має більш широкий діапазон можливостей. Одним із нововведень є те, що вона дозволяє при створенні нової керуючої програми задавати різні форми необроблених заготовок, що було недоступним в попередніх серіях систем. Ця опція з'явилась завдяки тому, що в системі

TNC640 є можливість виконання токарної обробки заготовки, контур якої задається симетрично відносно вісі обертання.

2. Загальна інформація про програмне забезпечення TNC 640

2.1. Пульти керування TNC 640

Пульти керування бувають двох видів: що встановлюються безпосередньо на верстат для оператора, і для роботи поза цехом для програміста або навчання.

Пульти керування, що встановлюються на верстат, виглядає наступним чином (рис.2.1):

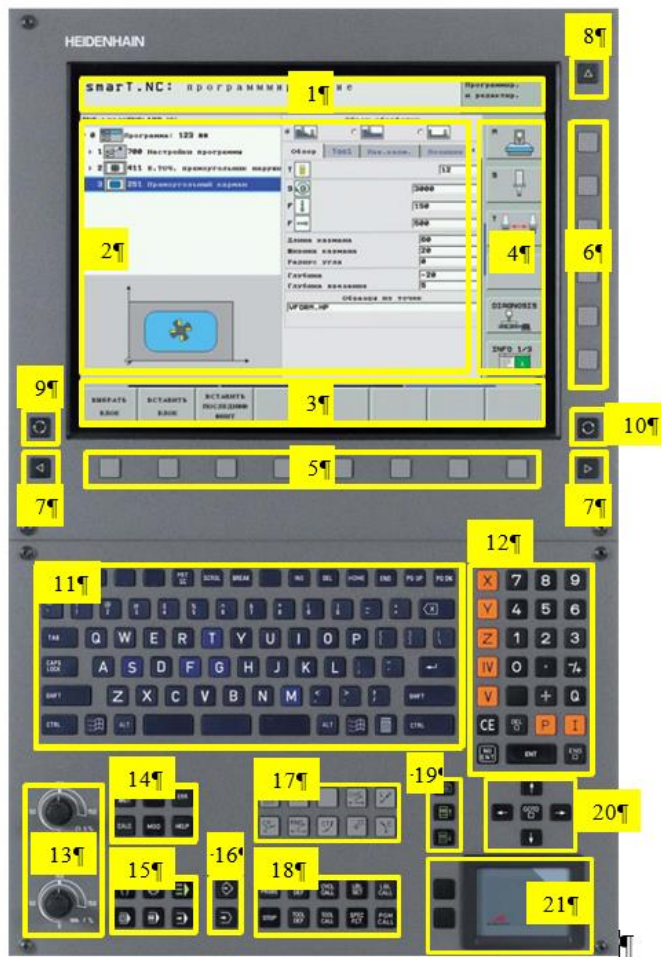


Рисунок 2.1- Пульти керування TNC 640

1 Головний рядок

При включеному ЧПК в головному рядку дисплея відображаються обрані режими роботи: зліва - режими роботи верстата, а праворуч - режими

роботи при програмуванні. У більш широкому полі великого рядка зазначено той режим роботи, на який переключено дисплей: там з'являються питання діалогового вікна і тексти повідомлень (виняток: якщо ЧПК забезпечує тільки індикацію графіки).

2 Основне поле екрану

3 Клавiші панелі *Softkey*

На клавiшах панелі *Softkey* виводяться різні функції ЧПК. Вибір цих функцій здійснюється за допомогою клавiш 5, розташованих нижче. Для орієнтації вузькі смуги (закладки) безпосередньо над панеллю *Softkey* вказують на кількість панелей *Softkey*, які можна вибрати чорними клавiшами зі стрілкою 7, що знаходяться зовні. Активна панель *Softkey* відображається підсвіченою смугою.

4 Клавiші панелі *Softkey*, що визначаються виробником верстата. Залежать від конкретної конструкції верстата.

5 Клавiші вибору *Softkey*.

Кожна клавiша вибору відповідає тій клавiші панелі *Softkey*, безпосередньо під якою вона знаходиться, і активує ту функцію ЧПК, яка в даний момент зображена на відповідній клавiші панелі *Softkey*.

6 Клавiші вибору *Softkey* виробника верстата.

7 Перемикання панелей *Softkey*.

8 Перемикання панелей *Softkey* виробника верстата.

9 Поділ екрана дисплея.

10 Перемикач активних режимів роботи ЧПК.

11 Буквена клавіатура для введення тексту, імен файлів і програмування в стандарті DIN/ISO. Двопроцесорна версія: додаткові клавiші для роботи з Windows.

12 Цифрова клавіатура і клавiші вибору осей.

13 Потенціометри регулювання швидкості обертання шпинделя і подачі.

14 Керування файлами, калькулятор, функція MOD, функція підказки (HELP).

15 Режими роботи верстата.

16 Режими програмування.

17 Програмування траєкторій.

18 Цикли, підпрограми та повтори частин програм.

19 Клавiші навігації smarT.NC.

20. Стрілки і операція переходу GOTO.

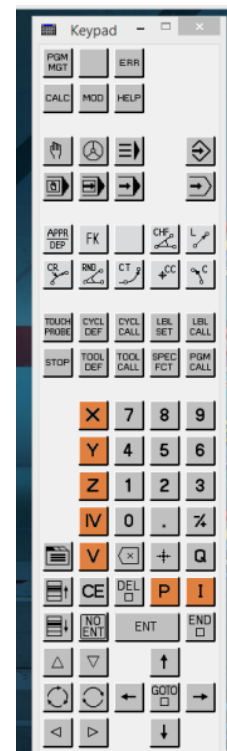
21 Touchpad: тільки для роботи в двухпроцесорній версії ЧПК.

Пульти, що встановлюються поза цехом для програміста (програмна станція) - це клавіатура, що підключається до персонального комп'ютера через USB. У зв'язку з цим, в ній відсутні робочі зони 6, 8, 13, 21, за непотрібністю.

У разі відсутності програмної станції на персональному комп'ютері можна скористатися або екранною клавіатурою, або звичайною (рис.2.2).



а



б

Рисунок 2.2- а -Фото програмної станції; б - екранна клавіатура
TNC640

2.2. Режими роботи TNC 640

Перше, на що потрібно звертати увагу, це в якому режимі роботи Ви зараз перебуваєте (активний режим). Його Вам покаже рядок заголовків у верхній частині екрану.



Режим Програмування та редагування активний, а режим Ручне керування – фоновий (рис.2.3).

Режим ручного управління	Программирован . и редактирование		
0	BEGIN PGM hook MM		
1	BLK FORM 0.1 Z X-120 Y-100 Z+0		
2	BLK FORM 0.2 X+120 Y+200 Z+35		M


Рисунок 2.3 – Варіанти відображення активного режиму

Таблиця 2.1 – Режими роботи та відповідні їм функції

Клавіша	Режим	Функція
	Програмування та редагування	Введення і редагування програми; конфігурація інтерфейсу
	Тест програми	Тест програми без переміщень робочих органів верстата з графікою або без виявлення геометричних невідповідностей і відсутніх даних
	Ручне керування	Переміщення робочих органів по осях верстата. Індикація значень осей. Координати опорних точок
	Електронний маховичок	Керування переміщеннями робочих органів верстата електронним маховичком замість клавіатури. Координати опорних точок
	Позиціонування з ручним введенням даних	Введення і відпрацювання блоків (частин програм) позиціонування або циклів. Введені блоки можуть бути збережені у вигляді програми
	Покадрове відпрацювання програми	Відпрацювання окремого кадру з переміщенням робочих органів верстата здійснюється натисканням кнопки

Клавiша	Режим	Функція
		Start ... Start
	Автоматичне відпрацювання програми	Виконання програми після START
	smarT.NC	Введення і редагування програм. Тест програми. Виконання програми - покадровое і повне. Редагування таблиці інструментів

2.3. Поділ екрана дисплея TNC 640

Кожен режим роботи верстата має свій набір варіантів відображення інформації в основному полі екрана. Весь доступний Вам набір варіантів конкретного режиму Ви можете переглянути на панелі *Softkey*, натиснувши клавiшу .

Так, наприклад, режим **Ручне керування** має всього 3 варіанти відображення інформації:

- Позиція – на весь екран буде відображатися одне вікно з координатами і режимами інструменту;
- Позиція + стан – екран буде розділений на два вікна;
- Кінематика + позиції – екран буде розділений на два вікна.

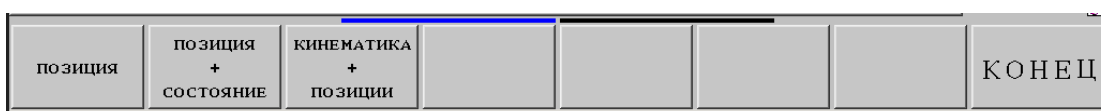


Рисунок 2.4 – Варіанти відображення інформації в режимі **Ручне керування**

Режим **Тест програми** має 7 варіантів відображення:

- Програма;
- Програма + частини програми;
- Програма + стан;
- Програма + графіка;
- Графіка;
- Кінематика + програми;

- Кінематика.

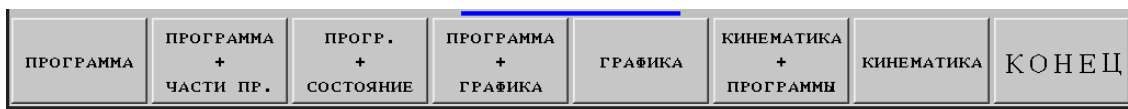


Рисунок 2.5 - Варіанти відображення інформації в режимі **Тест програми**

Вибравши будь-якої з режимів, перегляньте спочатку всі можливі варіанти відображення на екрані і виберіть найбільш зручний та інформативний для вирішення поставлених перед Вами завдань.

2.4. Керування файлами TNC 640

2.4.1. Ім'я та розширення файла

Програми, тексти, таблиці та інші дані система ЧПК записує на жорсткий диск у вигляді файлів.


Довжина імені файлу не повинна перевищувати 25 символів, інакше система ЧПК не відображатиме повне ім'я програми. В імені файлу не допускається використання наступних символів ! " () * + / ; < = > ? [] ^ ` { | } ~.

Для поділу файлів за типом до імені файлу через точку додається відповідне розширення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Типи файлів та їх призначення

Файли	Призначення	Тип
Програми	В текстовому діалозі ЧПК "ХАЙДЕНХАЙН" В стандарті DIN/ISO	.H .I
Файли smarT.NC	Модульна програма: завдання послідовності операцій і параметрів обробки Тільки опис контурів (тільки геометрія) Таблиця точок: завдання позицій обробки	.HU .HC .HP
Таблиці	Інструменти Палети Нульові точки Точки	.T .P .D .PNT
Текст	ASCII-файли	.A
Данні контурів	ASCII-файли	.DXF

2.4.2. Файловий менеджер


Для керування файлами система ЧПК має свій файловий менеджер. Він викликається клавішею .

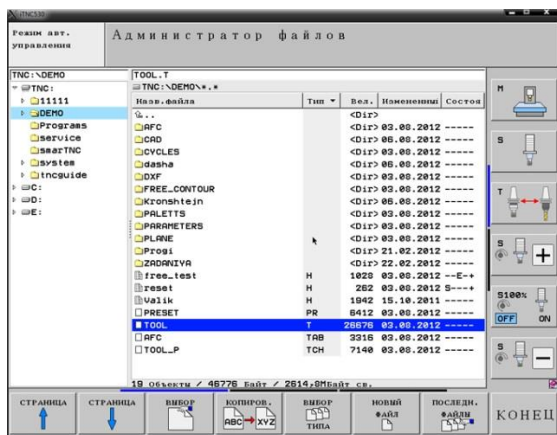
Файл-менеджери різних режимів незалежні один від одного. Наприклад, працюємо в файл-менеджері режиму Програмування та редагування з файлом в одній папці. Заходимо в режим Тест програми і викликаємо файл-менеджер, і можемо працювати паралельно вже з іншим файлом іншої папки. І навіть якщо знову повернутися в режим Програмування та редагування і відкрити файл-менеджер, то побачимо залишений виділеним з минулого разу перший файл в першій папці.

Важливо розуміти це, особливо, коли в даному режимі з файлами Ви ще не працювали, або працював ще хтось до Вас.

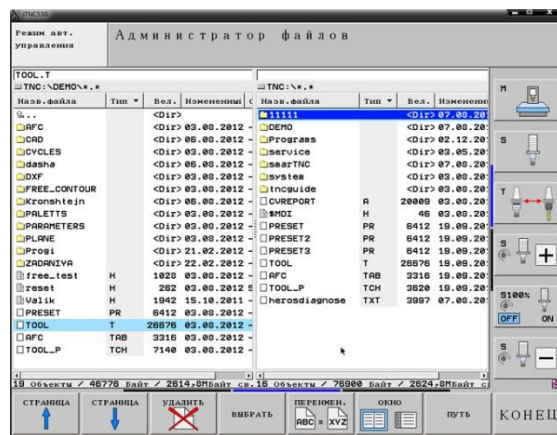
2.4.3. Інтерфейс файл-менеджера

Відкривши файл-менеджер, перш, ніж почати роботу з файлами, виберіть прийнятний Вам режим відображення файлів: дерево папок і список файлів або двовіконний режим списків файлів. Це можна зробити клавішею

 на одній із закладок панелей (рис. 2.6).



а



б

Рисунок 2.6 - Інтерфейс файл-менеджера: а – дерево папок; б – двовіконний режим списків файлів

2.4.4. Незмінні клавіші панелей і підпанелей

У будь-якому режимі роботи в будь-який закладці панелей *Softkey* є три незмінні клавіші для гортання списку файлів (якщо в папці файлів більше, ніж відображено у вікні) і для виходу з файл-менеджера:



Рисунок 2.7 - Незмінні клавіші панелей і підпанелей

Деякі клавіші *Softkey* відкривають підпанель. Так, наприклад, в файл-менеджері свої підпанелі мають клавіші:



Підпанелі, в свою чергу, мають постійну клавішу виходу.





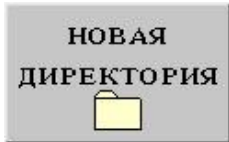
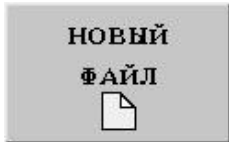
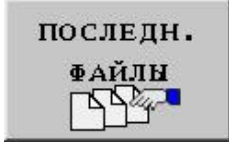
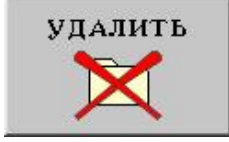


Рисунок 2.8 - Постійна клавішу виходу для всіх підпанелей




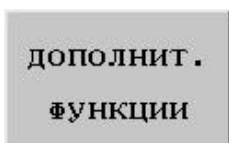
2.4.5. Операції з файлами

Клавіші панелі *Softkey* відображають доступні операції над файлами або папками, які в даний момент виділені. Перебуваючи в режимі відображення файлів **дерево папок і список файлів**, значення клавіш можуть змінюватися в залежності від того, виділена папка в **дереві папок**, або файл в **списку файлів**. У двовіконному режимі списку файлів значення клавіш не змінюється. Клавіші панелі *Softkey* відображають доступні операції над файлами або папками, які в даний момент виділені.

Таблиця 2.3 – Клавіші *Softkey*, відповідні їм функції та дії

Softkey	Функції	Дії
	Відкрити файл	Аналогічно подвійному натисканні по самому файлу

Softkey	Функції	Дії
	Копіювання (і конвертація)	При копіюванні папки відкривається дерево папок для вибору місця запису копії. При копіюванні файлу в цю ж папку з'явиться запит про перейменування файлу. Для копіювання файлу в іншу папку потрібно вибрати інформацію, що з'явилася клавiшу дерева фалів. При зміні розширення файлу відбувається конвертація
	Фільтр певного типу файлу	Клавiша відкриває підпанель з пропонуваними фільтрами по розширенню файлу. Не користуючись ними, можна задати своє розширення, або ім'я файлу, або частину імені файлу
 	Створення нової папки або файлу	Нова папка або файл створюється в попередньо виділеній папці тільки на дисководі TNC: \. Створення папки в двовіконному режимі списку файлів неможливе
	Останні файли	Виводить список файлів, що недавно використовувались
 	Видалення папки чи файлу	Безповоротне видалення папки або файлу
	Вибір відразу декількох файлів натис	Клавiша відкриває підпанель для вибору відразу декількох файлів.

Softkey	Функції	Дії
	Переіменувати	Замінює ім'я і розширення файлу
	Відкрити за допомогою	Функція доступна тільки для певного типу файлів, з таким, наприклад, розширенням, як .NC, .HU. Пропонує відкрити файл або редактором діалогу відкритим текстом, або редактором smarT.NC
	Активне дерево файлів	В дереві файлів закриває всі неактивні папки (якщо вони були відкриті) і залишає тільки ту гілку, в якій виділена папка або файл
	Додаткові функції	Включення і вимикання захисту від редагування файлу, підключення і відключення USB-пристрою, опції налаштування відображення файлів

3. Написання і редагування програм (основні поняття)

3.1. Базова система координат фрезерного верстата

При обробці заготовки на фрезерному верстаті в загальному випадку застосовується декартова система координат. На рис. 3.1, а показаний зв'язок між декартовою системою координат і осями верстата.

Правило правої руки служить орієнтиром, що полегшує запам'ятовування: якщо середній палець вказує напрям осі інструменту від заготовки до інструменту, то він показує напрямок Z+, великий палець - напрямок X+, а вказівний - напрямок Y+.

Крім головних осей X, Y і Z, існують паралельні додаткові осі U, V і W. Осі обертання позначаються буквами A, B і C. На рис. 3.1, б показано зв'язок додаткових осей або осей обертання з головними осями.

TNC640 може керувати опціонально 18 осями. iTNC530 може управляти в цілому максимум 9 осями.

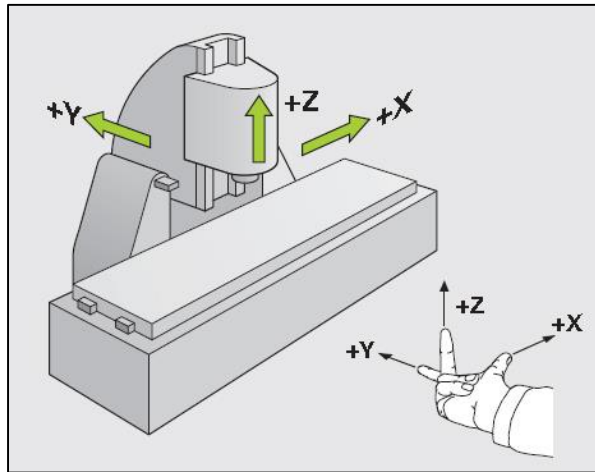


Рисунок 3.1 - Зв'язок між декартовою системою координат і осями верстата

3.2. Системи координат

Якщо розміри на кресленні вказані в декартовій системі координат, то програма обробки також складається з використанням декартових координат X, Y і Z.

Для заготовок з круговими траєкторіями або при наявності даних про кути в багатьох випадках простіше визначати позиції за допомогою полярних координат (рис. 3.2)

Полярні координати описують положення тільки на площині.

Полярні координати мають нульову точку на полюсі CC (CC = circle centre). Таким чином, положення на площині однозначно визначається за допомогою наступних даних:

- радіус полярних координат: відстань від полюса CC до точки;
- кут полярних координат: кут між базовою віссю кута і відрізком, що з'єднує полюс CC з точкою.

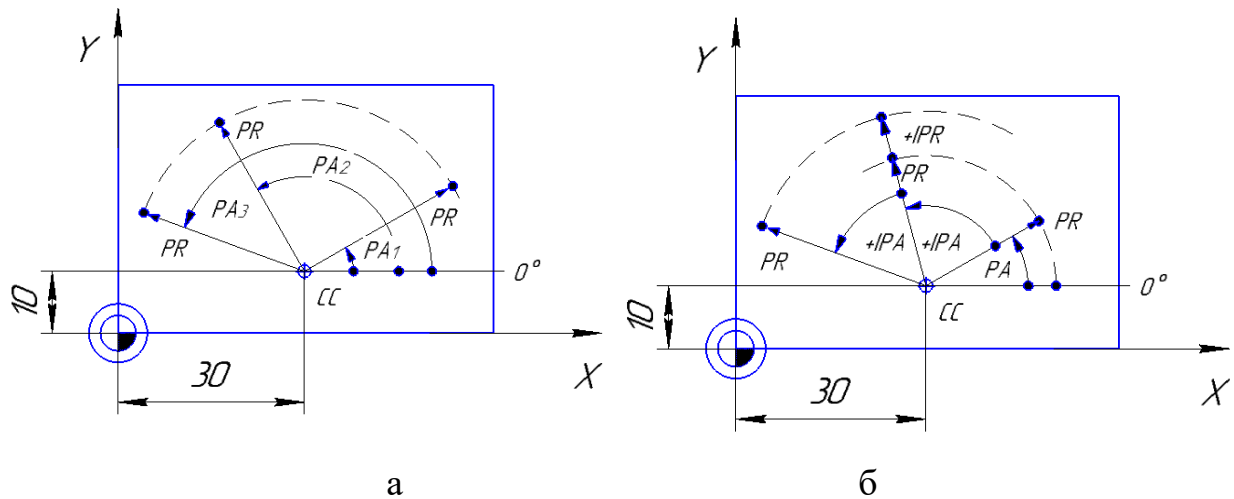


Рисунок 3.2- Використання полярної системи координат для визначення позицій в полярній абсолютній (а) та полярній інкрементальній системі (б)

Абсолютні координати відраховуються від нульової точки координат (початку відліку) (див. рис.3.3, а) або від полюса і базової осі кута (рис.3.3,б).

Інкрементальні координати відраховуються від останньої запрограмованої позиції інструменту, що використовується в якості відносної (уявної) нульової точки (рис. 3.3, б).

Інкрементальний розмір виділяється наявністю "I" перед позначенням осі.

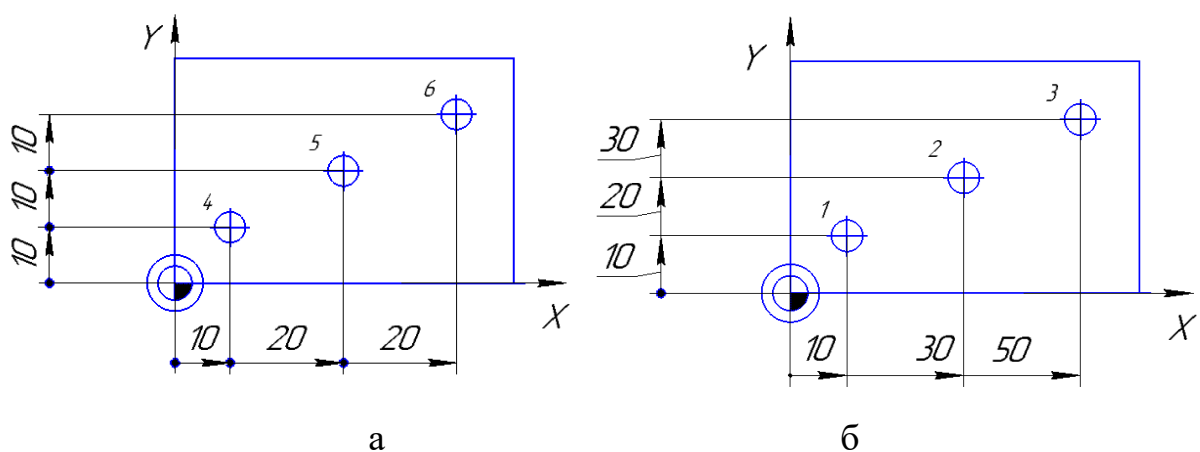


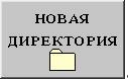
Рисунок 3.3 - Використання полярної системи координат для визначення позицій в декартовій абсолютній (а) та декартовій інкрементальній системі (б)

3.3. Написання нової програми

Для написання нової програми необхідно:

1. Перейти в режим **Программирование и редактирование** .

2. Далі потрібно викликати файл-менеджер .


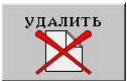
3. У папці «tnc» в потрібному місці (папка з шифром групи) створити свою папку (папка з прізвищем студента), куди будемо зберігати свої програми .

4. У даній папці створити новий файл .

Після назви вставити розширення файлу **.H**, щоб ЧПК зрозуміла, що це буде програма HEIDENHAIN відкритим текстом.

5. У діалоговому вікні вибрати одиницю виміру: натиснути **Softkey** mm або inch (дюйм).

Самоконтроль: якщо Ви забули в назві вказати розширення, діалогове вікно не з'явиться. Відразу відкриється текстовий файл. В такому випадку

необхідно викликати файл-менеджер  і видалити неправильно створений файл .

Знову створити вже правильний файл з потрібним розширенням.

6. У відкритому файлі вибрати найбільш зручний варіант відображення інформації. Пропонується вибрати варіанти: ПРОГРАММА+ГРАФИКА або ПРОГРАММА+3D-ЛИНИИ.

3.4. Структура NC-програми в діалозі відкритим текстом Heidenhain

Програма обробки складається з ряду кадрів програми.

Система ЧПК нумерує кадри програми обробки по зростаючій (рис. 3.4). Перший кадр програми позначається за допомогою **BEGIN PGM**, імені програми та діючої одиниці виміру.

Наступні кадри несуть в собі наступну інформацію:

- Параметри заготовки.
- Параметри інструменту, вісь шпинделя, частота обертання, подача.
- Переміщення інструменту в безпечну позицію.
- Рух по траєкторіях, цикли та інші функції.
- Відведення інструменту в безпечну позицію.

Останній кадр програми позначений за допомогою **END PGM**, імені програми та діючої одиниці виміру.

Система ЧПК формує перший і останній кадри програми автоматично. Ці кадри ви не зможете змінити в подальшому.

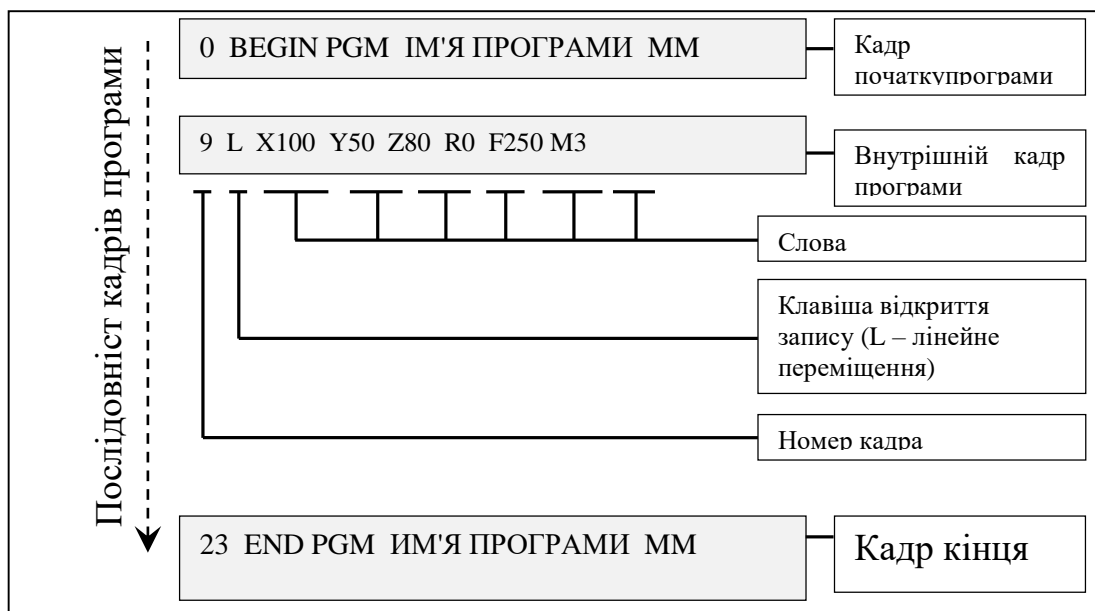













Рисунок 3.4 - Структура запису даних

3.5. Засоби написання і редагування програми

Клавiшi клавiатури представлено на рис. 3.5, а функції, які вони виконують – в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Клавiшi клавiатури та відповідні їм функції

Клавiшi	Функції
 	Перехід від одного кадру до іншого
 	Вибір окремих слів у кадрі
	Вибір певного кадру: натиснути клавiшу GOTO, ввести номер необхідного кадру, підтвердити клавiшею ENT або ввести крок нумерації кадрів і пропустити кількість введених рядків натисканням Softkey N СТРОК вгору або вниз
	Закінчити введення слова
	Закінчити введення кадру
	Видалення обраного слова
	Обнулення цього значення слова Видалення невірного значення Видалення повідомлення про помилку (немиготливого)
	Видалення попереднього знаку в слові
	Видалення обраного кадру Видалення циклів і частин програм

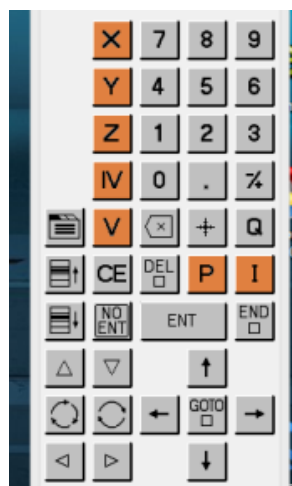









Рисунок 3.5 - Клавiшi клавiатури

Для вставки кадрів в будь-якому місці програми необхідно вибрати кадр клавішами   (обраний кадр виділяється іншим кольором, за замовчуванням - синім), за яким потрібно вставити новий кадр, і відкрити діалогове вікно, тобто натиснути клавішу відкриття кадру, наприклад, лінійного переміщення .

Для зміни і вставки слів необхідно вибрати в кадрі потрібне слово клавішами   (вибране слово виділяється іншим кольором фону, за умовчанням синім) і повторно його ввести з новим значенням.

Завершення зміни: необхідно натиснути клавішу END.

Якщо потрібно вставити слово, необхідно натискати клавіші   до тих пір, поки не з'явиться потрібне діалогове вікно, і ввести бажане значення.

Написання елементарної програми

Приклад: «Обробка трьох отвір в призматичній заготовці»

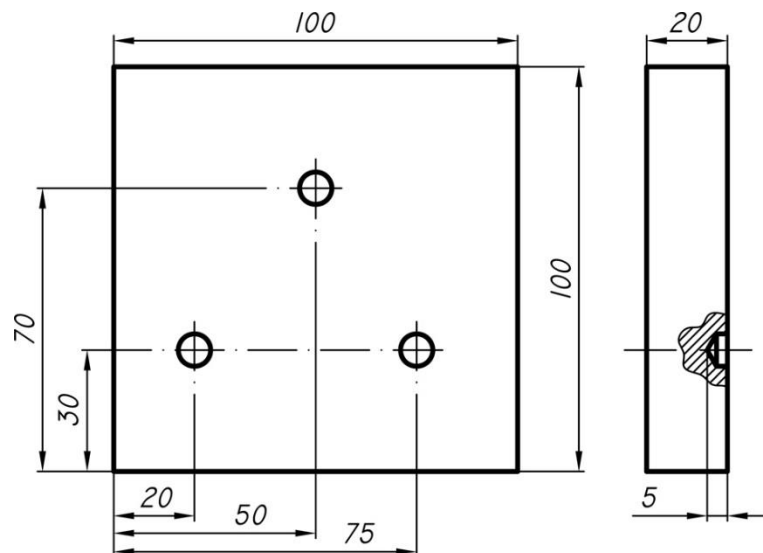


Рисунок 3.6- Ескіз деталі

Призначення режимів різання

(В навчальних цілях для скорочення часу на призначення режимів різання при написанні програм допускається вибір даних з таблиць без урахування поправочних коефіцієнтів).

Заготовка: сталь 45, 100x100x20 мм.

Свердління трьох отворів Ø8 мм при $L / d = 5/8 = 0,625 < 3$:

Інструмент - свердло із швидкорізальної сталі діаметром $d = 8$ мм.

Глибина різання, $t = 4$ мм

Подача на оборот, $S = 0,19$ мм / об










Швидкість різання, $V = 25,5$ м / с
























Частота обертання шпинделя















$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot d) = 1000 \cdot 25,5 / (3,13 \cdot 8) = 1014$ об / хв.

Подача хвилинна, $S_{хв} = n \cdot S = 192$ мм / хв.

Таблиця 3.2 - Написання програми та пояснення до неї

Текст програми	Пояснення, клавіші клавіатури
0 BEGIN PGM 370-3otv MM Автоматично створений кадр з індикацією назви файлу і одиницею виміру	Початок програми
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-20	Визначення заготовки: MIN-точка?
Вісь шпинделя? Z –	
Мінімальний розмір? X –	0 
Мінімальний розмір? Y –	0 
Мінімальний розмір? Z –	-20 
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0	Визначення заготовки: MAX-точка?
Максимальний розмір? X –	100 
Максимальний розмір? Y –	100 
Максимальний розмір? Z –	0 
3 TOOL CALL 4 Z S1014 F192	 Виклик інструменту
Виклик інструменту (радіус)	4 

Текст програми	Пояснення, клавіші клавіатури
Вісь шпинделя? Z –	
Швидкість обертання шпинделя S=?	1014 
Подача F=?	192 
Похибка довжини інструменту? DL –	
Похибка радіуса інструменту? DR –	
Похибка радіуса інструменту 2? DR2 –	
4 L Z+100 R0 FMAX M3 Вихід на безпечну висоту. Вмикання оборотів шпинделя	 Лінійне переміщення
Координати?	 100 
Корекція на радіус?	 
Подача F=?	 
Додаткова функція M=?	3 
5 L X+50 Y+70 FMAX Розташування над першим отвором	 Лінійне переміщення
Координати? X –	50 
Координати? Y –	70 
Координати? Z –	
Корекція на радіус?	
Подача F=?	 
Додаткова функція M=?	
6 L Z+2 FMAX Розташування над отвором	 Лінійне переміщення

Текст програми	Пояснення, клавіші клавіатури
Координати?	 2 
Корекція на радіус?	
Подача F=?	FMAX 
Додаткова функція M=?	
7 L Z-5 Свердління на робочій подачі	 Лінійне переміщення
8 L Z+2 FMAX Вихід з отвору	 Лінійне переміщення
9 L X+20 Y+30 FMAX Розташування над лівим отвором	 Лінійне переміщення
10 L Z-5 Свердління на робочій подачі	 Лінійне переміщення
11 L Z+2 FMAX Вихід з отвору	 Лінійне переміщення
12 L X+75 FMAX Розташування над правим отвором	 Лінійне переміщення
13 L Z-5 Свердління на робочій подачі	 Лінійне переміщення
14 L Z+2 FMAX Вихід з отвору	 Лінійне переміщення
15 L Z+100 FMAX M30 Відведення на безпечну відстань. Виключення обертання шпинделя	 Лінійне переміщення
16 END PGM 370-3otv MM	Кінець програми

Для збереження програми нічого робити не потрібно. ЧПК автоматично записує в папку «tnc» кадр за кадром.

Обережними потрібно бути з видаленням кадрів і файлів через ЧПК. Вони не відновлюються, а просто стираються з диска.

3.6. Визначення параметрів заготовки

Відразу після того, як буде відкрита нова програма, ЧПК запустить діалогове вікно введення визначення заготовки.

Для додаткового визначення заготовки натиснути кнопку **SPEC FCT**, потім **Softkey** СТАНДАРТНІ ЗНАЧЕННЯ ПРОГРАМИ, а після цього - **Softkey** **BLK FORM**.

Для визначення заготовки в iTNC530 завжди використовується паралелепіпед, для якого задаються MIN- і MAX-точки щодо обраної точки прив'язки.

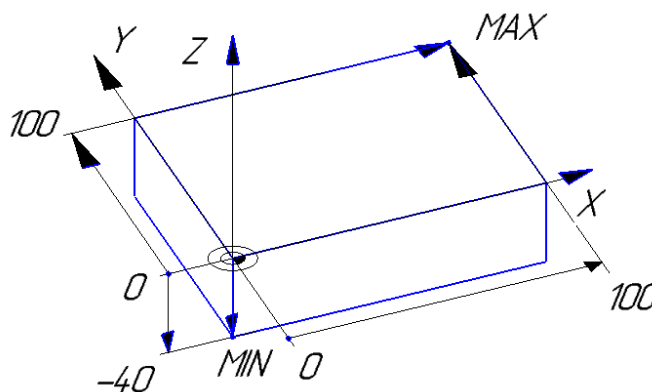


Рисунок 3.7 - Визначення параметрів заготовки

- **Вісь шпинделя?** Введенням Z.
- **Мін. розмір?** Введіть послідовно X-, Y- и Z-координати MIN-точки, кожен раз підтверджуючи введення клавішею **ENT**.
- **Макс. розмір?** Введіть послідовно X-, Y- и Z-координати MAX-точки, кожен раз підтверджуючи введення клавішею **ENT**.

```

0 BEGIN PGM Name MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0
3 END PGM Name MM
    
```

Рисунок 3.8- Фрагмент програми

ЧПК TNC640 пропонує використати різні форми заготовок, представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Форми заготовок та особливості їх опису

Функція, клавіша <i>SoftKey</i>	Приклад індикації BLK FORM	Пояснення
Визначення прямокутної заготовки 	0 BEGIN PGM NEU MM 1 BLK FORM CYLINDER Z R50 L105 DIST +5 RI110 2 END PGM NEU MM	Введення активної вісі шпинделя. Опис заготовки двома кутовими точками MIN – точка (найменші координати X,Y,Z паралелепіпеда) MAX – точка (найбільші координати X,Y,Z паралелепіпеда)
Визначення циліндричної заготовки 	0 BEGIN PGM NEW MM 1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40 2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0 3 END PGM NEU MM	Введення активної вісі шпинделя X,y,z. Радіус циліндра (з додатнім знаком), довжина циліндра (з додатнім знаком). DIST- зміщення вздовж вісі обертання. RL – внутрішній радіус для порожнистого циліндра
Визначення заготовки будь-якої форми, симетричної відносно вісі обертання 	Контур заготовки повинен бути заданий в підпрограмі , у визначенні заготовки ви зсилаєтесь на опис контура. Контур повинен бути замкненим.	DIM_D, DIM_R – діаметр або радіус заготовки симетричної відносно вісі обертання. LBT – підпрограма з описом контура.

3.7. Визначення параметрів інструменту

3.7.1 Виклик і зміна інструменту

Виклик або зміна інструменту здійснюється клавішею .

- **Виклик інструмента?** За допомогою клавіш *Softkey* можна викликати інструмент по його номеру, назвою або безпосередньо з таблиці інструментів. За замовчуванням, номер інструменту відповідає його радіусу.

- **Вісь шпинделя?** Введенняємо Z.

- Швидкість обертання шпинделя? **S** Введеннямо частоту обертання або швидкість різання.

- Подача? **F**

- Похибка довжини інструмента? **DL**

- Похибка радіусу інструмента? **DR**

- Похибка радіусу інструмента 2? **DR2** Для радіусної фрези.

```
3  TOOL CALL 4 Z S1000 F200 DL+1  
DR+0.5 DR2:+0.5
```

Рисунок 3.9 – Фрагмент програми

Кожен інструмент позначений номером (від 0 до 32767). При роботі з таблицями інструментів можна додатково привласнювати інструментам назви. У назві інструменту допускається не більше 16 знаків.

Інструмент з номером 0 визначений як нульовий інструмент і має довжину $L = 0$ і радіус $R = 0$. У таблицях інструментів інструменту T0 також слід привласнити $L = 0$ і $R = 0$.

Як правило, координати руху по траєкторії програмуються відповідно до розмірів заготовки, наведеними на кресленні. Щоб система ЧПК могла розрахувати траєкторію центру інструменту, і, отже, виконати корекцію інструменту, потрібно ввести довжину і радіус кожного застосовуваного інструмента. Параметри інструментів можна введенняти або за допомогою функції **TOOL DEF** безпосередньо в програмі, або окремо з таблиці інструментів. При табличному введенні установки інструментів можна ознайомитися з іншими параметрами, відповідними конкретному інструменту. Система ЧПК враховує всі введені дані під час виконання програми обробки.

- Редагування таблиці інструментів **TOOL.T**: Вибрати режим роботи:



Рисунок 3.10 – Режими роботи

- Нажати **Softkey** ТАБЛИЦА ИНСТРУМЕНТОВ .

- Натяць **Softkey** редагування РЕДАКТИР., вібравши «ON» для вмикання режиму редагування.

- Вибрати курсором змінюване значення і змінити його.

Зроблені зміни починають діяти тільки після вимикання режиму редагування РЕДАКТИР, OFF або в разі виходу з таблиці.

Змінені параметри інструменту стають активними після наступного виклику цього інструменту командою TOOL CALL.

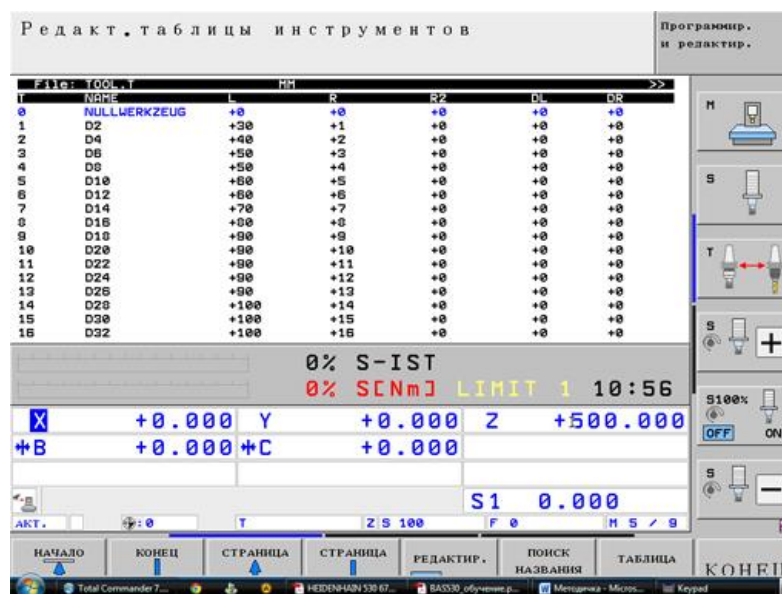


Рисунок 3.11 – Редагування таблиці інструментів

3.7.2 Швидкість обертання шпинделя і подача


Швидкість обертання шпинделя S задається в обертах за хвилину (об/хв) в кадрі TOOL CALL (виклик інструменту). В якості альтернативи можна також задати швидкість різання V_c в м/хв. Система керування сама визначить потрібну частоту обертання n за формулою:




$$n = 1000V / (\pi d),$$

де d - діаметр інструменту.

Внесення змін

У програмі обробки частоту обертання шпинделя можна змінити за допомогою кадру TOOL CALL, ввівши в ньому лише нову частоту обертання:

Програмування виклику інструмента: натисніть клавішу .

Пропустіть діалог **Номер інструменту?**, натисніть клавішу . Пропустіть діалог **Вісь шпинделя?**, натисніть клавішу . В вікні діалога **Швидкість обертання шпинделя? S** введіть нову швидкість обертання, підтвердіть клавішею  або за допомогою Softkey VC перейдіть до введення швидкості різання

3 TOOL CALL S(VC = 100)

Рисунок 3.12 – Фрагмент програми

Вмикання і вимикання обертів шпинделя, МОР та інших функцій записується в окремих кадрах або кадрах переміщень М-функціями (табл.3.4).

Таблиця 3.4 - Додаткові М-функції

Функція	Дія
M0	Останов виконання програми. останов шпинделя
M1	Виконання програми. Останов за вибором оператора. Останов за необхідності.
M2	Останов виконання програми. Останов шпинделя. Подача ЗОР виключена. Повертання до кадру 1.
M3	Включення обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
M4	Включення обертання шпинделя проти годинникової стрілки
M5	Останов шпинделя
M6	Зміна інструменту. Останов шпинделя. Останов виконання програми
M8	Включення подачі ЗОР
M9	Виключення подачі ЗОР
M13	Включення обертання шпинделя за годинниковою стрілкою. Включення подачі ЗОР
M14	Включення обертання шпинделя проти годинникової стрілки. Включення подачі ЗОР
M30	Останов виконання програми. Останов шпинделя. Подача ЗОР виключена.

Швидкість подачі F - це швидкість (мм/хв або дюйм/хв), з якої центр інструменту переміщується по своїй траєкторії. Максимальна швидкість подачі визначається характеристиками верстата і може відрізнятися для різних осей.

Подачу можна ввести в кадрі TOOL CALL (виклик інструменту) і в будь-якому кадрі позиціонування. У програмах з вимірюванням в міліметрах подача задається в мм/хв, в дюйм-програмах - для оптимальних показників - в 1/10 дюйма/хв.

```
3  TOOL CALL 4  Z S1000 F200
4  L  X+0  Y+0  Z+0 FMAX M3
```

Рисунок 3.13 – Фрагмент програми

Таблиця 3.5 – Види подачі

Подача	Функції для визначення подачі	Тривалість дії
F_{\max}	Переміщення на прискореній подачі.	Діє тільки в тому кадрі, де була запрограмована. Щоб прискорена подача діяла і далі, можна ввести F99999.
F_{auto}	Переміщення з автоматично розрахованою подачею з кадру TOOL CALL	Задана числовим значенням подача зберігається до того кадру, де буде введена її нова величина
F	Переміщення з запрограмованою подачею	
F_u	Визначення подачі на один оберт (мм/об, дюйм/об)	
F_z	Визначення подачі на один зуб (мм/зуб, дюйм/зуб)	

3.7.3 Значення «дельта» для довжини і радіусу

Дельта-значеннями позначаються відхилення довжини і радіусу інструменту.

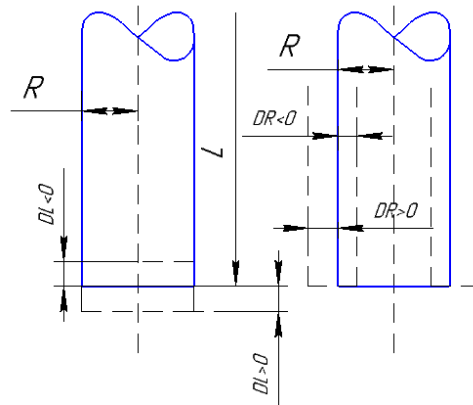


Рисунок 3.14 – Поправка на розміри інструменту

Додатні дельта-значення є припуск ($DL, DR, DR2 > 0$). При обробці з припуском значення для нього введенняються при програмуванні виклику інструменту в TOOL CALL.

Від'ємне дельта-значення означає нижню межу допуску ($DL, DR, DR2 < 0$). Нижня межа допуску введенняється в таблицю інструменту для розрахунку зносу інструменту.

Дельта-значення введенняються в вигляді числових значень, в кадрі TOOL CALL ці значення можна задати також за допомогою Q-параметра.

При поправці на довжину враховуються як дельта-значення з кадру TOOL CALL ($DL_{TOOL CALL}$), так і дельта-значення з таблиці інструментів (DL_{TAB}).

$$\text{Величина корекції} = L + DL_{TOOL CALL} + DL_{TAB}.$$

При поправці на радіус враховується як дельта-значення з кадру TOOL CALL ($DR_{TOOL CALL}$), так і дельта-значення з таблиці інструментів (DR_{TAB}).

3.7.4 Корекція інструменту

Система ЧПК змінює траєкторію інструмента на величину поправки, на довжину інструменту по осі шпинделя і на значення радіуса інструмента на площині обробки.

Корекція на довжину інструменту починає діяти відразу після виклику інструменту і переміщення по осі шпинделя. Вона скасовується, як тільки викликається інструмент довжиною $L = 0$.

Після виклику інструменту за допомогою *TOOL CALL* запрограмований шлях інструменту по осі шпинделя змінюється на величину різниці довжини між старим і новим інструментом.

Кадр програми для переміщення інструменту містить:

- RL або RR для корекції на радіус;
- R + або R- для корекції на радіус в разі переміщення навколо осі;
- R0, якщо корекція на радіус не повинна виконуватися.

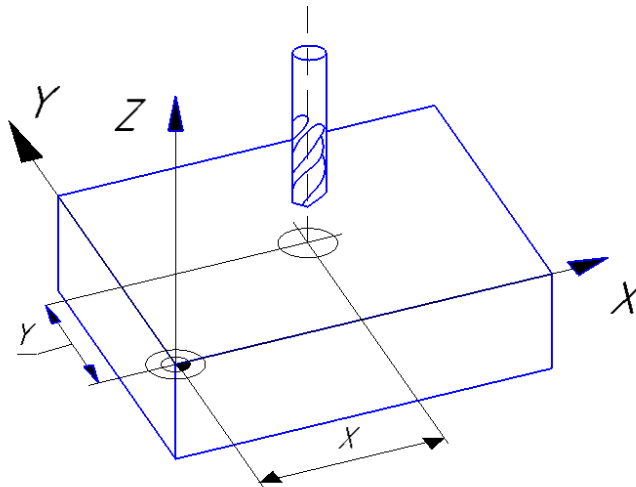


Рисунок 3.15 - Рух по траєкторії без поправки на радіус R0

Поправка на радіус приймається рівною R0, якщо інструмент і його центр переміщаються на площині обробки по запрограмованій траєкторії або на запрограмовані координати, і застосовується для свердління.

Корекція на радіус починає враховуватися відразу після виклику інструменту і його переміщення за допомогою кадру прямих на площині обробки з RL або RR.

Система ЧПК скасовує поправку на радіус, якщо:

- програмується кадр прямих з R0;
- виконується вихід з контуру за допомогою функції DEP;
- програмується виклик PGM CALL;
- викликається нова програма за допомогою PGM MGT.

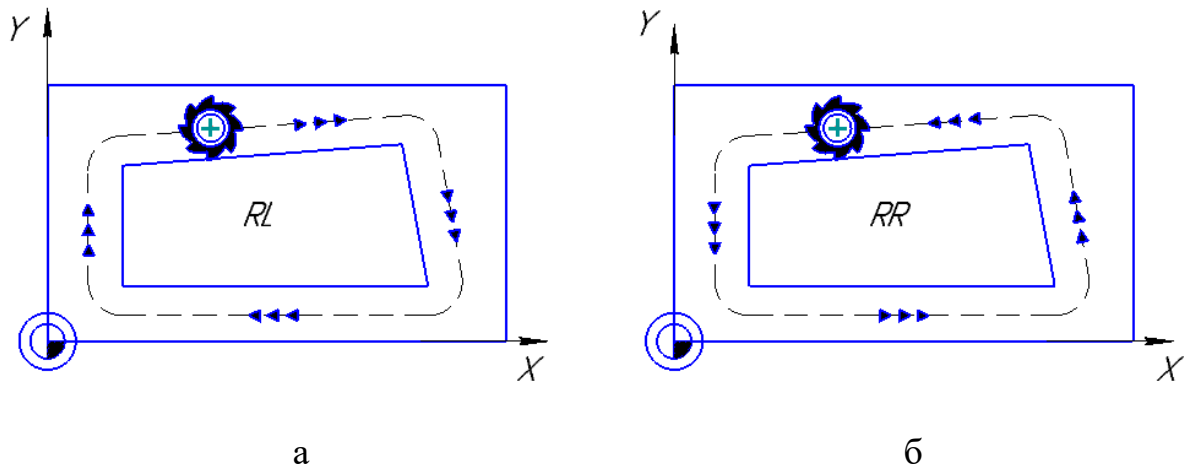


Рисунок 3.16 - Рухи по траєкторії з поправкою на радіус: RR і RL: а) RR - інструмент переміщається праворуч від контуру; RL - інструмент переміщається зліва від контуру

При цьому центр інструменту знаходиться на відстані радіуса інструменту від запрограмованого контуру. Поняття "Справа" і "зліва" позначають положення інструменту в напрямку переміщення по контуру заготовки.

4. Програмування контурів

4.1. Функції траєкторій

Контур заготовки, як правило, складається з декількох елементів, таких як прямі і дуги кола. За допомогою функцій траєкторії програмуються руху інструменту для прямих і дуг окружності (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Клавіші функцій траєкторії

Рух паралельно осям верстата

Кадр програми містить інформацію про координати: система ЧПК переміщує інструмент паралельно заданій в програмі осі верстата.

Таблиця 4.1 – Функції траєкторії з поясненнями

Приклад кадру з поясненнями	Ескіз
50 L X+100 50 Номер кадру L Функція траєкторії X + 100 Координати кінцевої точки Інструмент зберігає Y- і Z-координати і переміщається в позицію X = 100	
60 L X+70 Y+50 60 Номер кадру L Функція траєкторії Інструмент зберігає Z-координату і переміщається на XY-площині в позицію X = 70, Y = 50.	
70 L X+80 Y+0 Z-10 70 Номер кадру L Функція траєкторії Інструмент переміщається в позицію X = 70, Y = 50, Z = -10.	

Кола і дуги кіл

При кругових рухах система ЧПК переміщує дві осі верстата одночасно: інструмент рухається щодо заготовки по круговій траєкторії. Для кругових рухів можна ввести центр окружності CC.

Напрямок обертання DR при кругових рухах

Для кругових рухів без плавного переходу до інших елементів контуру напрямок обертання введеться наступним чином:

Обертання за годинниковою стрілкою: DR-

Обертання проти годинникової стрілки: DR +

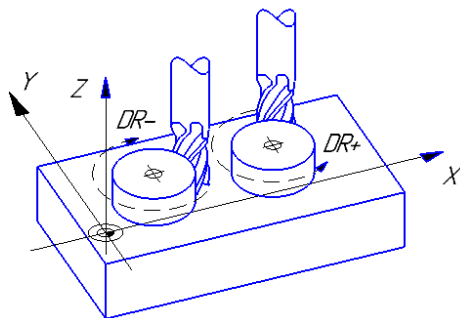
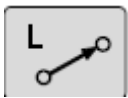
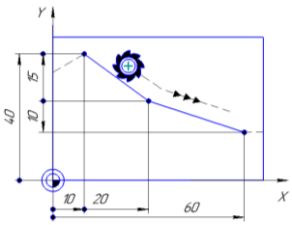
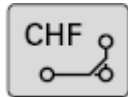
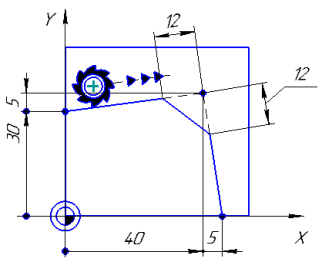
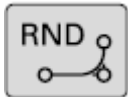
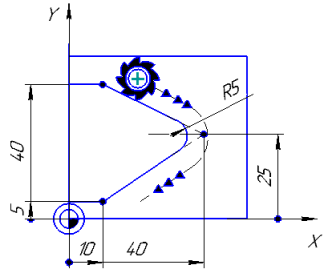
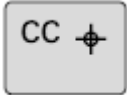
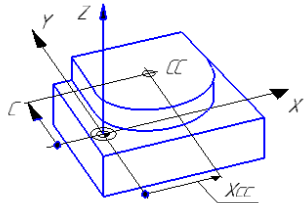
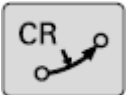
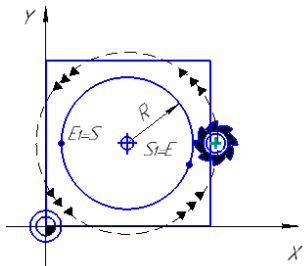

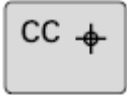
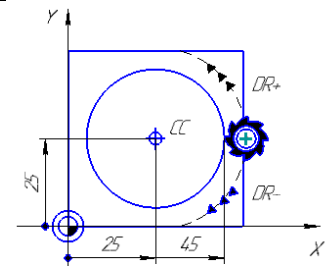
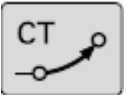
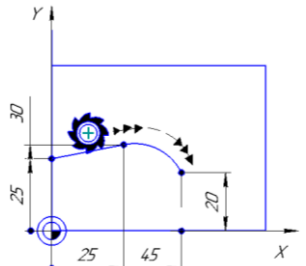



Рисунок 4.2 - Напрямок обертання DR при кругових рухах

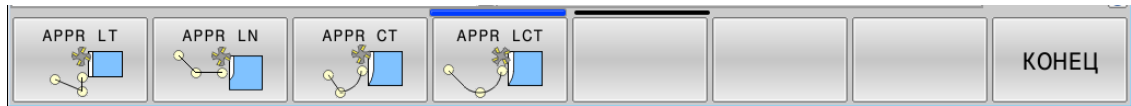
Таблиця 4.2- Функції траєкторії

Функціональна клавіша	Функція	Рух інструменту	Дані, що вводяться	Схема обробки
	пряма L (від англ.: Line)	Пряма	Координати кінцевої точки прямої, якщо необхідно, поправка на радіус RL/RR/R0, подача F, додаткова M-функція	
	Фаска: CHF (від англ.: ChamFer)	Фаска між двома прямими	Довжина фаски, якщо необхідно, подача F (активна тільки в CHF-кадрі)	
	Обрізка кутів RND (від англ.: RouNDing of Corner)	Кругова траєкторія з плавними переходами	Радіус кута R, якщо необхідно, подача F (активна тільки в RND-кадрі)	

Функціональна клавіша	Функція	Рух інструменту	Дані, що вводяться	Схема обробки
	Центр кола CC (від англ.: Circle Center)	Відсутня траєкторія	Координати центру кола або полюса	
	Дуга кола CR (від англ.: Circle by Radius)	Кругова траєкторія з зазначенням радіусу	Координати кінцевої точки кола, радіус кола, напрямок обертання DR (знак числа визначає увігнутий або опуклий вигин!), додаткова М-функція, подача F	
 	Дуга кола C (від англ.: Circle)	Кругова траєкторія з центром кола CC, що йде до кінцевої точки дуги кола	Координати кінцевої точки кола, напрямок обертання DR,; подача F, додаткова М-функція	
	Дуга кола CT (від англ.: Circle Tangential)	Кругова траєкторія з плавними переходами	Координати кінцевої точки кола, якщо необхідно, подача F, додаткова М-функція	
	Програмування вільного контуру FK	Пряма або кругова траєкторія з будь-яким переходом до попереднього елемента контуру	дивись "Руху по траєкторії - програмування Вільний контур FK"	

4.2. Форми траєкторії для входу в контур і виходу з нього

Функції APPR (англ. Approach = підведення) і DEP (англ. Departure = Виведення) активуються за допомогою кнопки APPR / DEP. Потім з допомогою клавіш *Softkey* можна вибрати такі форми траєкторії, що наведені на рис. 4.3 та в табл. 4.3, 4.4.





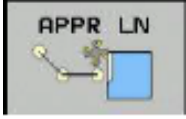





а




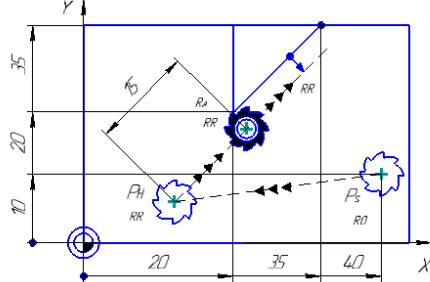

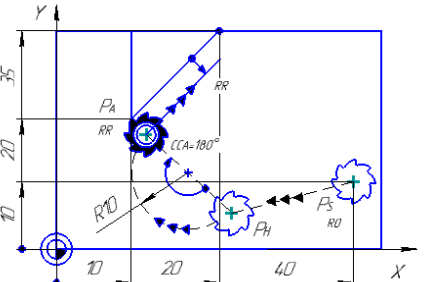

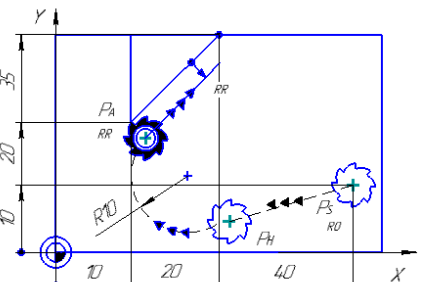

б

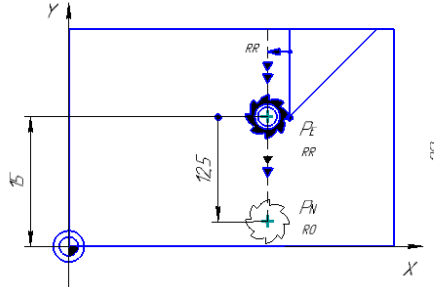



Рисунок 4.3- Функції траєкторії для входу (а) в контур і виходу з нього (б)

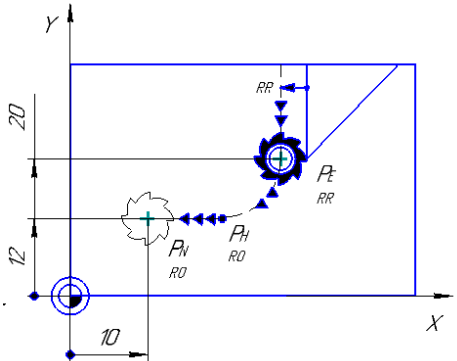
Таблиця 4.3 - Функції траєкторії для входу в контур і виходу з нього

Підведення	Відведення	Функція	В полярних координатах
		Пряма з поступовим переходом	APPR PLT/ DEP PLT
		По прямій перпендикулярно контуру	APPR PLN/DEP PLN
		Кругова траєкторія з плавним переходом	APPR PCT/DEP PCT
		Кругова траєкторія з переходом в пряму по дотичній, підведення і відведення від допоміжної точки поза контуром на ділянці прямої, дотичною до кола	APPR PLCT/ DEP PLCT

Таблиця 4.4 - Функції траєкторії для входу в контур і виходу з нього та опис відповідної траєкторії

Зображення клавіши <i>Softkey</i>	Схема обробки	Опис траєкторії
	<p>Наїзд по прямій з тангенціальним примиканням APPR LT/ APPR PLT</p> 	<p>Траєкторія руху інструменту показана стрілками від точки старту PS до допоміжної точки PH та до першої точки контуру PA по прямій, що є дотичною.</p>
	<p>Наїзд по круговій траєкторії з тангенціальним примиканням: APPR CT / APPR PCT</p> 	<p>Траєкторія руху інструменту показана стрілками від точки старту PS по прямій до допоміжної точки PH та до першої точки контуру PA по круговій траєкторії.</p>
	<p>Підведення уздовж контуру по дотичній дузі, плавно переходить в пряму: APPR LCT/ APPR PLCT</p> 	<p>Траєкторія руху інструменту показана стрілками від точки старту PS по прямій до допоміжної точки PH та до першої точки контуру PA по круговій траєкторії. Кругова траєкторія плавно переходить в пряму PS - PH, а також в перший елемент контуру.</p>
	<p>Відведення по прямій з тангенціальним примиканням: DEP LT/ DEP PLT</p>	<p>Траєкторія руху інструменту показана стрілками від останньої точки контуру PE до кінцевої точки PN. Пряма продовжує останній</p>

Зображення клавіши <i>Softkey</i>	Схема обробки	Опис траєкторії
		елемент контуру.
	<p>Відведення по прямій перпендикулярно до останньої точки контуру: DEP LN/ DEP PLN</p> 	Траєкторія руху інструменту показана стрілками від останньої точки контуру PE до кінцевої точки PN. Пряма проходить перпендикулярно контуру в останній точці PE. PN знаходиться від PE на відстані, рівному LEN + радіус інструменту.
	<p>Відведення по круговій траєкторії з тангенціальним примиканням: DEP CT/ DEP PCT</p> 	Траєкторія руху інструменту показана стрілками по круговій траєкторії від останньої точки контуру PE до кінцевої точки PN. Кругова траєкторія примикає до останнього елемента контуру по дотичній.
	<p>Відведення уздовж контуру по дотичній дузі, плавно переходить в пряму: DEP LCT/ DEP PLCT</p>	Траєкторія руху інструменту показана стрілками по круговій траєкторії від останньої точки контуру PE до допоміжної точки PH, далі по прямій до кінцевої точки PN. Останній елемент контуру і пряма PH - PN мають плавні переходи в

Зображення клавіши <i>Softkey</i>	Схема обробки	Опис траєкторії
		<p>кругову траєкторію через радіус R.</p>

4.3. Програмування вільного контуру FK

Якщо креслення, відповідне стандартам NC-програми, відсутнє або вказані не всі необхідні для NC- програми розміри, контур заготовки задається шляхом програмування вільного контуру. Система ЧПК сама розраховує відсутні дані.

За допомогою FK-програмування також програмуються рухи інструменту для прямих і дуг окружності.

Для відкриття діалогу FK-програмування необхідно натиснути клавішу функції траєкторії FK. ЧПК покаже клавіші *Softkey*, за допомогою яких можна почати FK-діалог (рис.4.4).

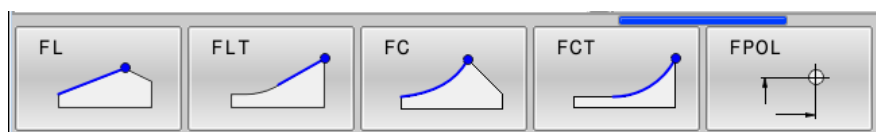


Рисунок 4.4 - FK-діалог




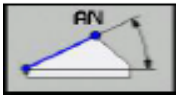

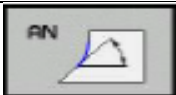

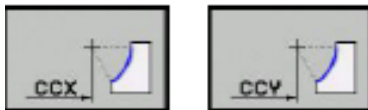
Якщо Ви починаєте FK-діалог однією з цих клавіш *Softkey*, то ЧПК показує інші панелі *Softkey* для введення відомих координат або даних напряму, а також даних про форму контуру (табл. 4.5).





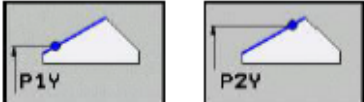
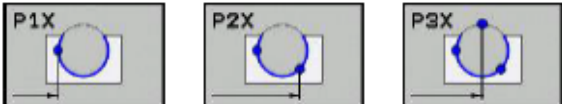
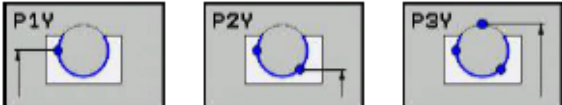

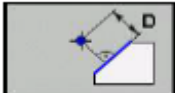

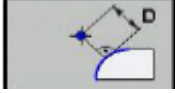
Таблиця 4.5 – Дані для введення при використанні FK-діалогу

Екранна клавіша	FK-елемент	Екранна клавіша	FK-елемент
	Пряма з плавним переходом		Дуга окружності з плавним переходом
	Пряма без плавного переходу		Дуга кола без плавного переходу
	Координати полюса при FK-програмуванні		

За допомогою клавіш **Softkey** вводять в кадр всі відомі дані (табл.4.6).


Таблиця 4.6 - Можливості введення координат кінцевих точок та напрямку і довжини елементів контуру

Екранні клавіші	Відомі дані
	Декартові координати X і Y
	Полярні координати щодо FPOL
	Довжина прямих
	Кут підйому
	Довжина хорди LEN фрагмента дуги кола
	Кут підйому AN дотичний на вході
	Центральний кут фрагмента дуги кола
	Центр в декартових координатах

Екранні клавiшi	Вiдомi данi
	Центр в полярних координатах
	Напрямок обертання кругової траєкторії
	Радіус траєкторії
	X-координата допоміжної точки P1 або P2 прямої
	Y-координата допоміжної точки P1 або P2 прямої
	X-координата допоміжної точки P1, P2 або P3 кругової траєкторії
	Y-координата допоміжної точки P1, P2 або P3 кругової траєкторії
	X- і Y- координата допоміжної точки поруч з прямою
	Відстань від допоміжної точки до прямої
	X- і Y-координата допоміжної точки поруч з кругової траєкторією
	Відстань від допоміжної точки до кругової траєкторії

5. Цикли обробки

Часто повторювані операції обробки, що охоплюють декілька кроків обробки зберігаються в системі ЧПК у вигляді циклів. Перетворення координат і деякі спеціальні функції також доступні в якості циклів.

Натисканням клавіші  можна викликати панель *Softkey*, яка показує різні групи циклів (рис.5.1).

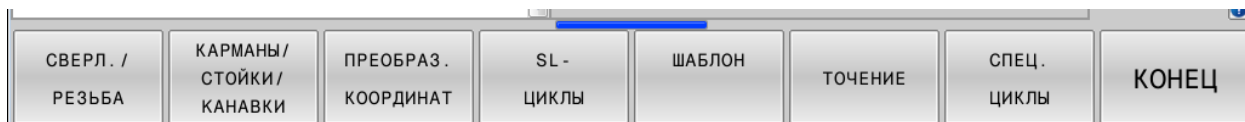


Рисунок 5.1 – Групи циклів




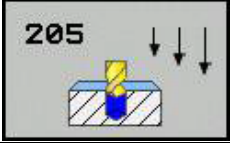



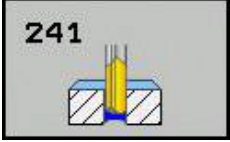

Таблиця 5.1 - Групи циклів та відповідна їм клавіша *Softkey*

Групи циклів	Клавіша <i>Softkey</i>
Цикли глибокого свердління, розвертання, розточки та зенківки	СВЕРЛ. / РЕЗЬБА
Цикли нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби, різбофрезерування	СВЕРЛ. / РЕЗЬБА
Цикли фрезерування кишень, цапф, канавок, фрезерування на площинах	КАРМАНЫ / СТОЙКИ / КАНАВКИ
Цикли перетворення координат, за допомогою яких можливо переміщувати, повернути, зеркально відображати, збільшувати або зменшувати будь-які контури	ПРЕОБРАЗ. КООРДИНАТ
SL – цикли ("Subcontur-List"), за допомогою яких обробляються контури, що складаються з декількох фрагментів контура, що накладаються, а також циклів обробки бокової поверхні циліндра і цикли вихрового фрезерування	SL - ЦИКЛЫ
Цикли для створення груп отворів, наприклад, кіл з отворів або перфорованих поверхонь	ШАБЛОН
Цикли для токарної обробки і обробки черв'ячною фрезою	ТОЧЕНИЕ
Спеціальні цикли: час витримки, виклик програми, орієнтація шпинделя, гравіювання, допуск, точіння з інтерполяцією, визначення навантаження	СПЕЦ. ЦИКЛЫ

5.1. Цикли обробки: свердління

В системі ЧПК передбачені наступні цикли для різних видів обробки свердлінням (табл.).

Таблиця 5.2 – Види обробки свердлінням та відповідні їм цикли

Цикл	Клавіша <i>Softkey</i>	Цикл	Клавіша <i>Softkey</i>
240 Центрування		204 Зворотнє зенкерування	
200 Свердління		205 Універсальне глибоке свердління	
201 Розвертання		208 Розточне фрезерування	
202 Розточування		241 Глибоке свердління рушничним свердлом	
203 Універсальне свердління			

5.1.1. Центрування (цикл 240)

Хід цикла

1. Система ЧПК (СЧПК) позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході " F_{MAX} " на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент центрує з програмованою подачею F на заданий діаметр центрування чи на задану глибину центрування.
3. Якщо необхідно, інструмент затримується на дні центрування.
4. Потім інструмент переміщується з " F_{MAX} " на безпечну відстань.

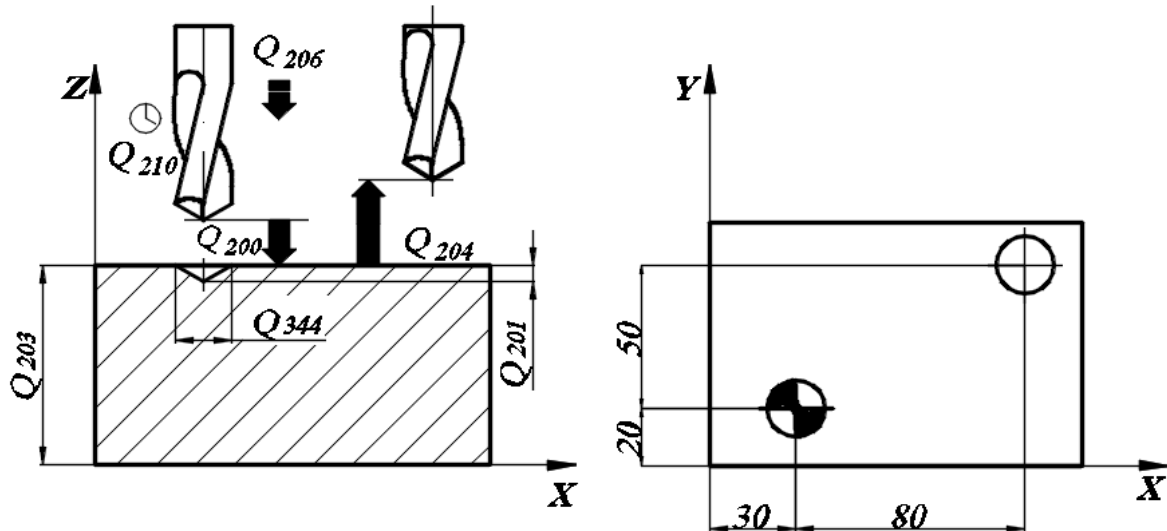


Рисунок 5.2 – Цикл центрування

Кадри УП:

10 L Z+100 R0 FMAX

11 CYCL DEF 240 ZENTRIROVANIE Центрування

Q200 = 2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE Безпечна відстань

Q343 = 1 Вибір діаметру/глибини

Q201 = +0 Глибина

Q344 = 9 Діаметр

Q206 = 250 Подача на врізання

Q211 = 0.1 Витримка часу внизу

Q203 = +20 Координата поверхні

Q204 = 100 2-га безпечна відстань

12 L X+30 Y+20 R0 FMAX M3 M99

13 L X+80 Y+50 R0 FMAX M99

5.1. 2. Свердління (цикл 200)

Хід цикла

1. Система ЧПК (СЧПК) позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.

2. Інструмент свердлить з программованою подачею F до першої глибини врізання.
3. ЧПК відводить інструмент з подачею F_{MAX} на безпечну відстань, витримує там, якщо так було запрограмовано, а потім з подачею F_{MAX} переміщує на безпечну відстань над точкою першого врізання на глибину.
4. Потім інструмент свердлить з заданою подачею F на значення наступної глибини врізання.
5. СЧПК повторює цю операцію (2 до 4), допоки не буде досягнута задана глибина свердління.
6. З дна свердління інструмент переміщується з F_{MAX} на безпечну відстань чи, якщо це задано, на 2-гу безпечну відстань. Потім інструмент переміщується з F_{MAX} на безпечну відстань чи, якщо задано, на 2-гу безпечну відстань.

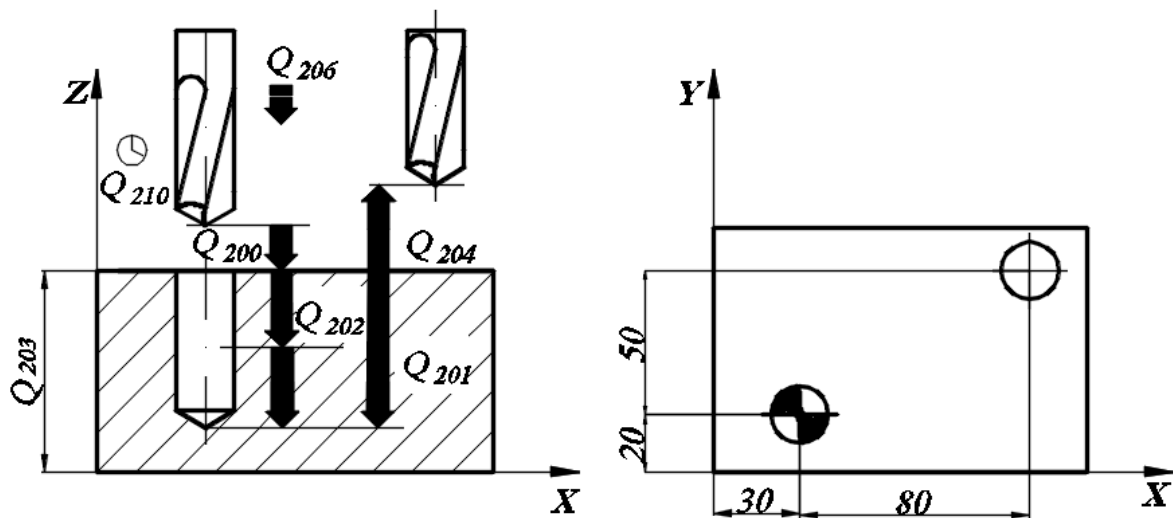


Рисунок 5.3 – Цикл свердління

Кадри УП:

11 CYCL DEF 200	Свердління
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q201 = - 15	Глибина
Q206 = 250	Подача врізання на глибину
Q202 = 5	Глибина підводу на врізання

Q210 = 0	Висота перебування зверху
Q203 = +20	Координатна площина
Q205 = 100	2-га безпечна відстань
Q211 = 0.1	Час перебування внизу
Q395 = 0	Еталонна глибина
12 L X+30 Y+20 FMAX M3	
13 CYCL CALL	
14 L X+80 Y+50 FMAX M99	

5.1.3. Розвертання (цикл 201)

Хід цикла

1. СЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореній подачі F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент розвертає з заданою подачею F на програмовану глибину.
3. На дні свердління інструмент залишається, якщо це було задано.
4. Потім СЧПК переміщує інструмент з подачею F назад на безпечну відстань і звідти, якщо задано, з F_{MAX} -на 2-гу безпечну відстань

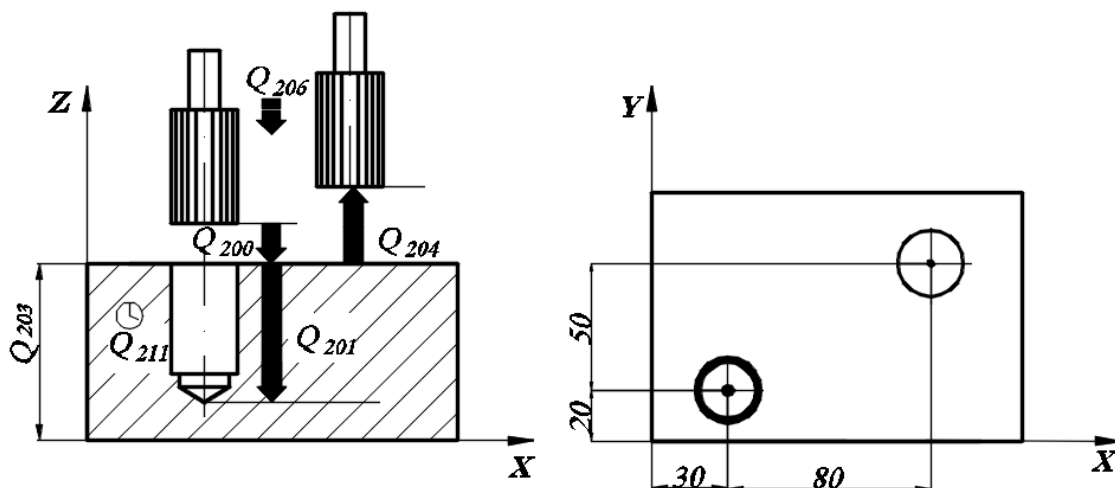


Рисунок 5.4 –Цикл розвертання

Кадри УП:

11 CYCL DEF 201 Розвертання

Q200=2	Безпечна відстань
Q201=-15	Глибина
Q206=100	Подача врізання на глибину
Q211=0.5	Час перебування внизу
Q208=250	Подача відводу
Q203=+20	Координатна площина
Q204=100	2-га безпечна відстань.
12 L X+30 Y+20 FMAX M3	
13 CYCL CALL	
14 L X+80 Y+50 FMAX M9	
15 L Z+100 FMAX M2	

5.1.4. Розточування (цикл 202)

Хід цикла

1. СЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент свердлить з подачею свердління на глибину.
3. На дні свердління інструмент залишається, якщо задано, з шпинделем, що обертається, для виходу матеріалу.
4. ЧПК здійснює орієнтацію шпинделя на позицію, яка задавалась в параметрі Q336.
5. Якщо ви вибрали вихід з матеріалу, то ЧПК відводить інструмент в заданому напрямку на 0.2 мм (жорстке значення) з матеріалу.

Після цього ЧПК переміщує інструмент з подачею зворотнього ходу на безпечну відстань і звідти, якщо це було задано, з F_{MAX} на 2-гу безпечну відстань. Якщо $Q214 = 0$, то зворотній хід здійснюється по стінці висвердленого отвору.

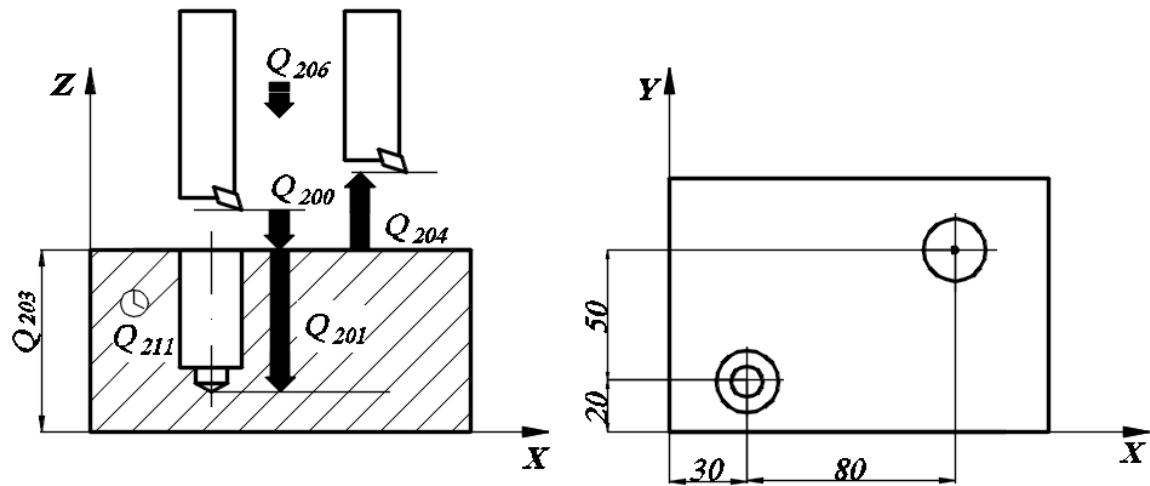


Рисунок 5.5 – Цикл розточування

Кадри УП:

10 L Z+100 R0 FMAX

11 CYCL DEF 202

Розточування

Q200=2

Безпечна відстань

Q201=-15 ;

Глибина

Q206=100 ;

Подача врізання на глибину

Q211=0.5

Час перебування внизу

Q208=250 ;

Подача відведення

Q203=+20

Координатна площина

Q204=100 ;

2-га безпечна відстань

Q214=1 ;

Напрямок вільного переміщення

Q336=0 FMAX M3

Кут шпинделя

12 L X+30 Y+20 F MAX M3

13 CYCL CALL

14 L X+80 Y+50 FMAX M99

5.1.5. Універсальне свердління (цикл 203)

Хід циклу

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент свердлить з заданою подачею F до першої глибини врізання.
3. Якщо задано ламання стружки, то ЧПК переміщує інструмент назад на задане значення повернення. Якщо робота виконується без ламання стружки, ЧПК переміщує інструмент з подачею оберненого ходу на безпечну відстань. Якщо задано, інструмент затримується, а після цього переміщується з F_{MAX} на безпечну відстань над першою глибиною врізання.
4. Потім інструмент свердлить з подачею на подальшу глибину врізання. Глибина врізання зменшується з кожним підводом на кількість знятого матеріалу, якщо це задано.
5. ЧПК повторює цю операцію (2-4), доки не буде досягнута глибина свердління.
6. На дні отвору інструмент перебуває до того часу, доки не буде введена команда для виходу з матеріалу. Після цього, якщо була задана 2-га безпечна відстань, ЧПК переміщує інструмент на нього з F_{MAX} .

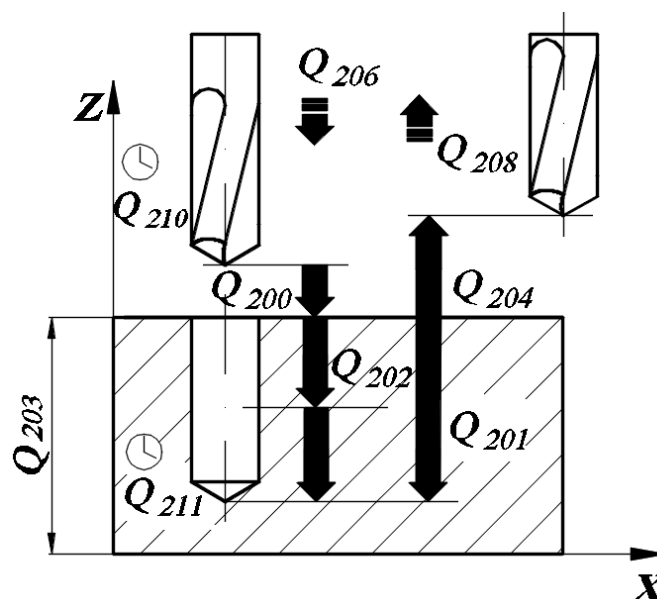


Рисунок 5.6 – Цикл універсального свердління

Кадри УП:

11 CYCL DEF 203	Універсальне свердління
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q201 = 20	Глибина
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q202 = 5	Глибина підводу на врізання
Q210 = 0	Тимчасове перебування зверху
Q203 = +20	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань.
Q212 = 0.2	Об'єм знімання
Q212 = 3	Ламання стружки
Q205 = 3	Мінімальна глибина підводу на врізання
Q211 = 0.25	Час перебування внизу
Q208 = 500	Подача відводу
Q256 = 0.2	Відвід при ломанні стружки
Q395 = 0	Еталонна глибина

5.1.6. Зворотнє зенкерування (цикл 204)

Хід циклу

За допомогою цього циклу виконуються поглиблення на нижній стороні заготовки.

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.

2. СЧПК здійснює орієнтацію шпинделя на позицію - 0° та зміщує інструмент на розмір ексцентрика.

3. Після цього інструмент занурюється з подачею перед-позиціонування в просвердлений отвір, а саме доки лезо досягає безпечної відстані нижче нижньої грані деталі.

4. ЧПК переміщує зараз інструмент назад всередину отвору, включає шпиндель і при необхідності МОР (мастильно-охолоджувальну рідину) і переміщується з подачею зенкування на задану глибину зенкування.

5. Якщо задано, інструмент перебуває на дні поглиблення і виходить потім з отвору, виконує орієнтацію шпинделя і зміщується знову на розмір ексцентрика.

6. СЧПК переміщує інструмент зі зворотною подачею на безпечну відстань і звідти, якщо було вказано, з F_{MAX} на 2-гу безпечну відстань.

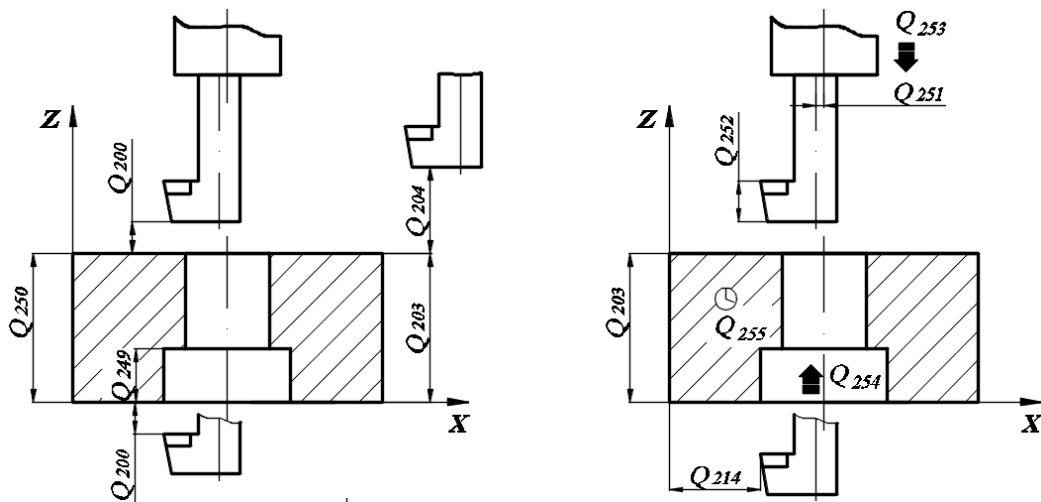


Рисунок 5.7 – Цикл зворотнього зенкування

Кадри УП:

11 CYCL DEF 204	Зворотнє зенкування
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q249 = +5	Глибина зенкування
Q250 = 20	Товщина матеріалу
Q251 = 3.5	Розмір ексценрика
Q252 = 15	Висота лез
Q253 = 750	Подача передпозиціонування
Q254 = 200	Подача зенкування
Q255 = 0	Висота перебування
Q203 = +20	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань

Q214 = 1

Напрямок вільного переміщення

Q336 = 0

Кут шпинделя

5.1.7. Універсальне глибоке свердління (цикл 205)

Хід циклу

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Якщо введена заглиблена точка старту, то СЧПК переміщується з тією ж самою подачею позиціонування на безпечну відстань над заглибленою точкою старту.
3. Інструмент свердлить з введеною подачею F до першої глибини врізання.
4. Якщо задано ламання стружки, то ЧПК переміщує інструмент назад на задане значення повернення. Якщо роботи виконуються без ламання стружки, ЧПК повертає інструмент на прискореному ході на безпечну відстань і знову переміщується з подачею F_{MAX} на виперджаючу відстань в точку, що знаходиться над першою глибиною врізання.
5. Інструмент свердлить з подачею на подальшу глибину врізання. Глибина врізання зменшується з кожним підводом на кількість знятого матеріалу, якщо це задано.
6. ЧПК повторює цю операцію (2-4), доки не буде досягнута глибина свердління.
7. На дні отвору інструмент перебуває до того часу, доки не буде введена команда для виходу з матеріалу. Після цього, якщо була задана 2-га безпечна відстань, ЧПК переміщує інструмент на нього з F_{MAX} .

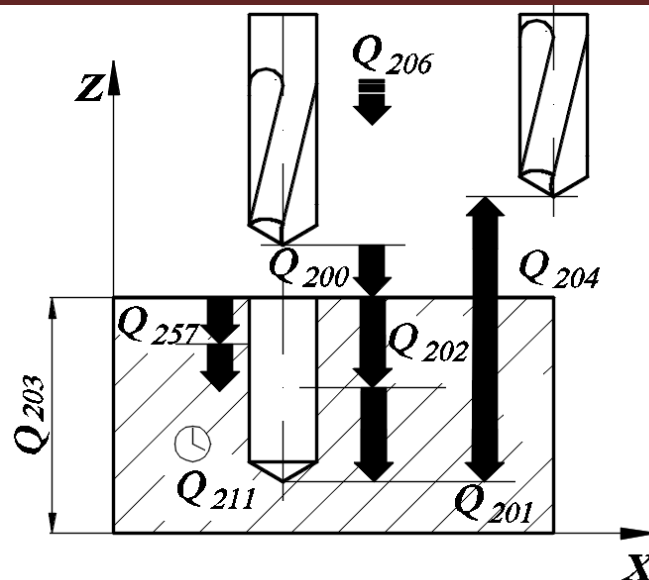


Рисунок 5.8 – Цикл універсального глибокого свердління

Кадри УП:

11 CYCL DEF 205	Універсальне глибоке свердління
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q201 = -80	Глибина
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q202 = 15	Глибина врізання
Q203 = +100	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q212 = 0.5	Зняття матеріалу.
Q205 = 3	Мінімальна глибина підводу на врізання
Q258 = 0.5	Відстань випередження зверху
Q259 = 1	Відстань випередження вниз
Q257 = 5	Глибина свердління при ломанні стружки
Q256 = 0.2	Відвід при ломанні стружки
Q211 = 0.25	Час витримки вниз
Q379 = 7.5	Точка старту
Q253 = 750	Подача передпозиційна
Q208 = 9999	Подача зворотнього ходу

Q395 = 0

Еталонна глибина

5.1.8. Розточувальне фрезерування (цикл 208)

Хід цикла

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на задану безпечну відстань над поверхнею заготовки і оброблює заданий діаметр по колу закруглення (якщо є місце).
2. Інструмент фрезерує з заданою подачею F по гвинтовій лінії до заданої глибини свердління.
3. Коли досягає глибини свердління, ЧПК проходить ще одне повне коло для видалення матеріалу, що залишився при врізанні.
4. ЧПК позиціонує інструмент знову в центр отвору.
5. ЧПК переміщується назад з F_{MAX} на безпечну відстань. Якщо була задана 2-га безпечна відстань, ЧПК переміщує інструмент на цю відстань з подачею F_{MAX} .

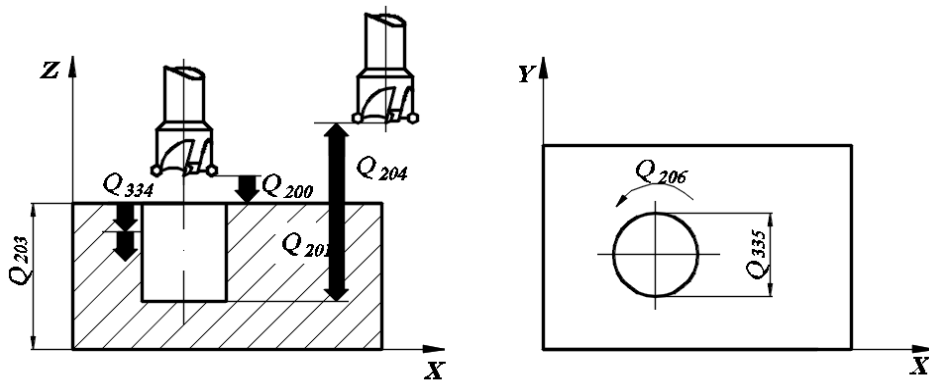


Рисунок 5.9- Розточувальне фрезерування

Кадри УП:

12 CYCL DEF 208 Розточувальне фрезерування

Q200 = 2 Безпечна відстань

Q201 = -80 Глибина

Q206 = 150 Подача врізання на глибину

Q334 = 1.5 Глибина врізання

Q203 = +100 Координатна площина

Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q335 = 25	Необхідний діаметр
Q342 = 0	Заданий діаметр
Q351 = +1	Вид фрезерування

5.1.9. Глибоке свердління рушничним свердлом (цикл 241)

Хід циклу

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. ЧПК переміщує інструмент з заданою подачею позиціонування на безпечну відстань над заглибленою точкою старту і вмикає частоту обертання при свердлінні за допомогою M3, а також подачу MOP. Система ЧПК виконує підвід з напрямком обертання шпинделя, який було задано в циклі, за годинниковою стрілкою, проти годинникової стрілки чи без обертання.
3. Інструмент виконує свердління з подачею F по досягненні глибини свердління чи, якщо була задана менша величина подачі, то по досягненні глибини подачі на врізання. Глибина врізання зменшується з кожним підводом на кількість знятого матеріалу. Якщо було введено значення глибини витримки, то система ЧПК обмежує подачу по досягненню глибини витримки за коефіцієнтом подачі.
4. Інструмент затримується на дні просвердленого отвору, якщо це було задано.
5. ЧПК повторює операцію (3-4), доки буде досягнута глибина свердління.
6. Після досягнення заданої глибини свердління ЧПК вмикає подачу MOP та встановлює швидкість обертання шпинделя, що дорівнює заданому значенню відводу.

7. ЧПК переміщує інструмент за допомогою подачі на відвід на безпечну відстань. Якщо була задана 2-га безпечна відстань, ЧПК переміщує інструмент на цю відстань з F_{MAX} .

5.2. Цикли обробки: нарізання нарізі/різьбофрезерування

В системі ЧПК передбачені наступні цикли для різних видів нарізання нарізі.

Таблиця 5.2 – Цикли нарізання нарізі

Цикл	Softkey
206 Нарізання нової нарізі	
207 Нарізання нової нарізі	
209 Нарізання нової нарізі з ламанням стружки	
262 Нарізефрезерування	
263 Нарізефрезерування зенкеруванням	
264 Нарізефрезерування свердлінням	
265 Нарізефрезерування свердлінням з гвинтовими зубами	
267 Фрезерування зовнішньої нарізі	

5.2.1 Нарізання різьби з компенсуючим патроном (цикл 206)

Хід циклу

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореній подачі F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент переміщається одним робочим ходом на глибину свердління.
3. Після цього напрямок обертання шпинделя змінюється і інструмент відводиться назад на безпечну відстань. Якщо було задано 2-гу безпечну відстань, ЧПК переміщує інструмент на неї з F_{MAX} .
4. На безпечній відстані напрямок обертання шпинделя знову змінюється.

Кадри УП:

25 CYCL DEF 206	Фрезерування нарізі
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q201 = -20	Глибина нарізі
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q211 = 0.25	Час перебування внизу
Q203 = +25	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань

5.2.2 Нарізання нарізі без компенсатора gs (цикл 207, din /iso: g207)

Хід циклу:

ЧПК нарізає нарізь за один, або за декілька робочих ходів без лінійного компенсатора.

1. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореній подачі F_{MAX} на безпечну відстань над поверхнею заготовки.
2. Інструмент переміщається одним робочим ходом на глибину свердління.

3. Після цього напрямок обертання шпинделя змінюється і інструмент відводиться назад на безпечну відстань. Якщо було задано 2-гу безпечну відстань, ЧПК переміщує інструмент на неї з F_{MAX} .

4. На безпечній відстані ПЧПК зупиняє шпиндель.

Кадри УП:

26 CYCL DEF 207 Нарізання нарізі без компенсатора	
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q201 = -20	Глибина нарізі
Q239 = +1	Крок нарізі
Q203 = +25	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань

5.2.4 Нарізання нарізі з ламанням стружки (цикл 209)

Хід циклу

1. ЧПК нарізає нарізь за декілька врізань на задану глибину. За допомогою параметра можна задати повний або неповний вивід інструменту з висвердленого отвору при ламанні стружки.

2. ЧПК позиціонує інструмент по осі шпинделя на прискореному ході F_{MAX} на задану безпечну відстань над поверхнею заготовки та здійснює там орієнтацію шпинделя.

3. Інструмент переміщається на задану глибину врізання, змінює напрямок обертання шпинделя і пересувається - в залежності від дефініції – на певне значення назад чи для видалення стружки з отвору. Якщо визначено коефіцієнт збільшення швидкості обертання, ЧПК робить вихід з отвору з більш високою швидкістю обертання шпинделя.

4. Після цього напрямок обертання шпинделя змінюється і підводиться на наступну глибину врізання.

5. ЧПК повторює цю операцію (2 до 3), поки буде досягнута задана глибина свердління.

6. Потім інструмент відводиться на безпечну відстань. Якщо було задано 2-гу безпечну відстань, ЧПК переміщує інструмент на неї з F_{MAX} .

7. На безпечній відстані ЧПК зупиняє шпиндель.

Кадри УП:

26 CYCL DEF 209 Нарізання зовнішньої нарізі. Руйнування стружки

Q200 = 2 Безпечна відстань

Q201 = -20 Глибина

Q239 = +1 Крок нарізі

Q203 = +25 Координатна площина

Q204 = 50 2-га безпечна відстань

Q257 = 5 Глибина свердління при руйнуванні стружки

Q256 = +25 Відведення при руйнуванні стружки

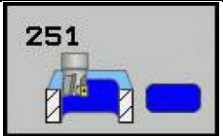


Q336 = 50 Кут шпинделя

Q403 = 1.5 Коефіцієнт частоти обертання

5.3. Цикли обробки: фрезерування кишень / островів / канавок

В системі ЧПК передбачені наступні цикли для обробки кишень, островів і канавок, представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Цикли обробки фрезеруванням

Цикл	Softkey
251 ПРЯМОКУТНА ВИЙМКА	
252 КРУГЛА ВИЙМКА	
253 ФРЕЗЕРУВАННЯ КАНАВОК	

254 КРУГЛИЙ ПАЗ	
256 ПРЯМОКУТНИЙ ОСТРІВ	
257 КРУГЛИЙ ОСТРІВ	
233 ФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХНІ	

5.3.1 Прямокутні виїмки (цикл 251)

Хід циклу

За допомогою циклу обробки 251 можна повністю обробити прямокутну виїмку (кишеню). В залежності від параметрів циклу існують такі варіанти обробки:

- Повна обробка: чорнова обробка, чистова обробка дна і збоку.
- Тільки чорнова обробка.
- Тільки чистова обробка дна і чистова обробка бічної поверхні.
- Тільки чистова обробка дна.
- Тільки чистова обробка бічної поверхні.

Чорнова обробка

1. Інструмент занурюється в центрі виїмки в матеріал деталі і переміщається на першу глибину підведення. Стратегія занурення визначається параметром Q366.

2. ЧПК оброблює кишеню зсередини назовні з урахуванням коефіцієнта накладення (параметр Q370) і припуску на чистову обробку (параметри Q368 і Q369).

3. В кінці операції ЧПК переміщує інструмент тангенціально від стінки кишені, потім на безпечну відстань над актуальною глибиною підведення і звідти на прискореному ході назад в центр кишені.

4. Ця операція повторюється, поки буде досягнута глибина кишені.

Чистова обробка

1. Якщо вказано припуск на чистову обробку, то інструмент занурюється в центрі кишені в матеріал деталі і переміщається на глибину врізання при чистовій обробці. Потім система ЧПК виконує чистову обробку стінок кишені, якщо введено декількома підводами. При цьому підведення до стінки кишені проводиться по дотичній

2. Потім ПЧПК виконує чистову обробку дна кишені у напрямку зсередини назовні. При цьому підвід до дна кишені здійснюється по дотичній

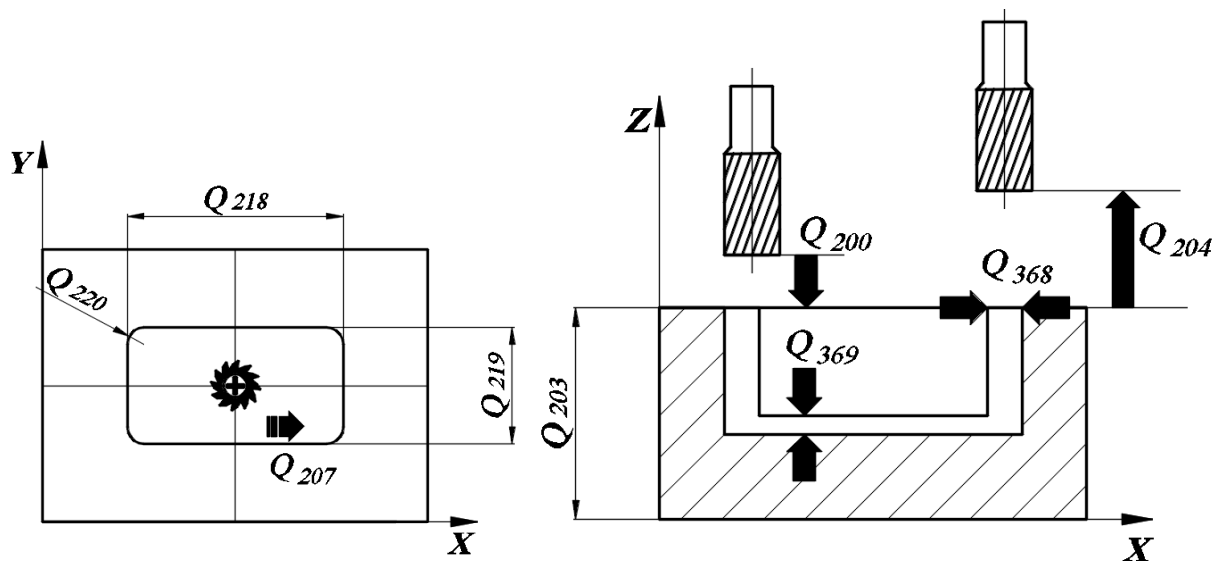


Рисунок 5.10 – Цикл Прямокутна виїмка

Кадри УП:

8 CYCL DEF 251 Прямокутна виїмка

Q215 = 0

Обсяг обробки

Q218 = 80

Довжина 1 сторони

Q219 = 60

Довжина 2 сторони

Q220 = 5	Радіус кута
Q368 = 0.2	Припуск на стороні
Q224 = +0	Положення обертання
Q367 = 0	Положення кармана
Q207 = 500	Подача фрезерування
Q351 = +1	Вид фрезерування
Q201 = -20	Глибина
Q202 = 5	Глибина врізання
Q369 = 0.1	Припуск на глибині
Q206 = 150	Подача врізання на глибині
Q338 = 5	Стан чистової обробки
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q203 = +0	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q370 = 1	Накладання траєкторії
Q366 = 1	Занурення
Q385 = 500	Подача чистової обробки
9 L X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99	

5.3.2 Кругла виїмка (цикл 252)

Хід циклу

За допомогою циклу 252 можна обробити круглу виїмку (кишеню). В залежності від параметрів циклу існують такі варіанти обробки:

- Повна обробка: чорнова обробка, чистова обробка дна і боку.
- Тільки чорнова обробка.
- Тільки чистова обробка дна і чистова обробка бічної поверхні.
- Тільки чистова обробка дна.
- Тільки чистова обробка бічної поверхні.

Чорнова обробка

1. Система ЧПК переміщує інструмент на прискореній подачі спочатку на безпечну відстань Q200 над заготовкою.
2. Інструмент занурюється в центрі кишені на значення глибини врізання. Стратегія занурення визначається параметром Q366.
3. ЧПК фрезерує кишеню зсередини назовні з урахуванням коефіцієнта накладення (параметр Q370) і припуску на чистову обробку (параметри Q368 і Q369).
4. Наприкінці операції фрезерування ЧПК відводить інструмент в площині обробки по дотичній на значення безпечної відстані Q200 від стінки кишені, піднімає інструмент на прискореному ході на відстань Q200 і звідти на прискореному ході повертає назад в центр кишені.
5. Кроки 2-4 повторюються до тих пір, поки не буде досягнута запрограмована глибина кишені. При цьому враховується припуск на чистову обробку Q369.
6. Якщо була запрограмована тільки чорнова обробка ($Q215 = 1$), то інструмент переміщається по дотичній на безпечну відстань Q200 від стінки кишені, піднімається на прискореному ході по осі інструменту до значення 2-ї безпечної відстані Q200 і звідти на прискореному ході повертається назад в центр кишені.

Чистова обробка

Якщо визначені припуски на чистову обробку, ЧПК виконує спочатку чистову обробку стінки кишені. Якщо вказано, то за декілька врізань.

ЧПК подає інструмент по осі інструменту в позицію, яка віддалена від стінки кишені на значення припуску на чистову обробку Q368 і безпечної відстані Q200

Система ЧПК вибирає канавку в напрямку зсередини назовні до значення діаметра Q223

ЧПК подає інструмент по осі інструменту в позицію, яка віддалена від стінки кишені на значення припуску на чистову обробку Q368 і безпечну відстань Q200 і повторює процес чистової обробки бічної стінки на новій глибині

ЧПК повторює цю операцію до тих пір, поки не досягається запрограмоване значення діаметра.

Після створення діаметра Q223 ЧПК переміщує інструмент в зворотному напрямку по дотичній на значення припуску на чистову обробку Q368 плюс значення безпечної відстані Q200 в площині обробки, відводить його на прискореному ході по осі інструменту на безпечну відстань Q200, а потім в центр кишені.

Потім ЧПК переміщує інструмент по осі інструменту на глибину Q201 і виконує чистову обробку дна кишені в напрямку зсередини назовні. При цьому підвід до дна кишені здійснюється по дотичній.

ЧПК повторює цю операцію до тих пір, поки не буде досягнута глибина Q201 плюс Q369.

На завершення інструмент переміщається по дотичній на значення безпечної відстані Q200 від стінки кишені, піднімається на прискореному ході по осі інструменту на безпечну відстань Q200 і звідти на прискореному ході повертається назад в центр кишені

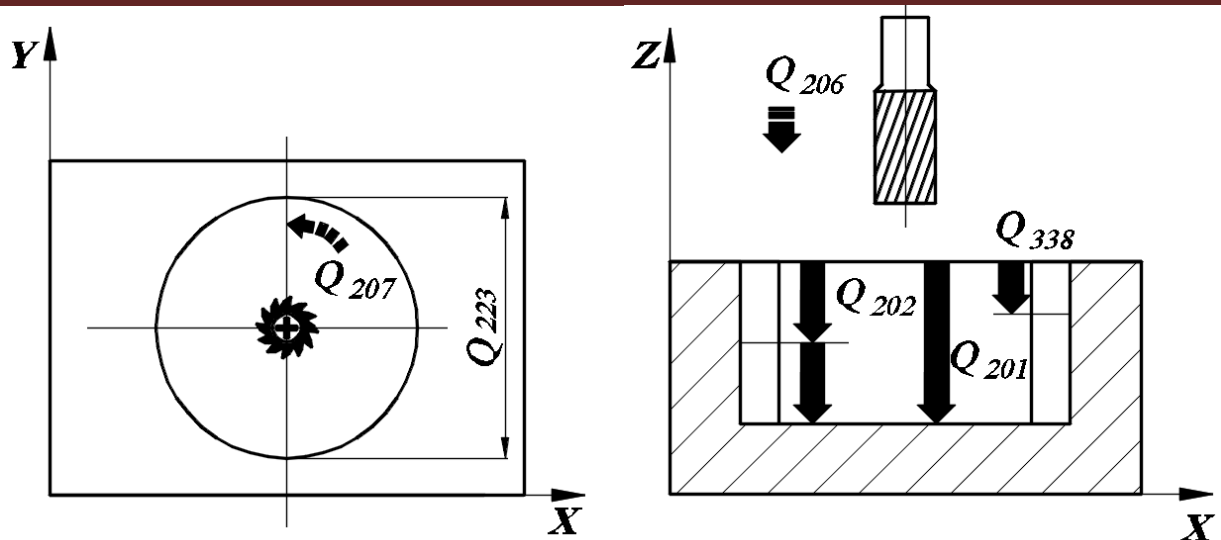


Рисунок 5.11- Цикл Кругла виїмка

Кадри УП:

8 CYCL DEF 252 Кругла виїмка

Q215 = 0	Обсяг обробки
Q223 = 60	Діаметр кола
Q368 = 0.2	Припуск на сторону
Q207 = 500	Подача фрезерування
Q351 = +1	Вид фрезерування
Q201 = -20	Глибина
Q202 = 5	Глибина підвода на врізання
Q369 = 0.1	Припуск на глибині
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q338 = 5	Стан чистової обробки
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q203 = +0	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q370 = 1	Накладення траєкторії
Q366 = 1	Занурення
385500	Подача, чистова обробка

Q439 = 3

Базова подача

9 X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99

5.3.3 Фрезерування канавок (цикл 253)

Хід циклу

За допомогою циклу 253 можна повністю обробити канавку. В залежності від параметрів циклу існують такі варіанти обробки:

- Повна обробка: чорнова обробка, чистова обробка збоку, чистова обробка на глибині.
- Тільки чорнова обробка.
- Тільки чистова обробка на глибині і чистова обробка бічної поверхні.
- Тільки чистова обробка дна.
- Тільки чистова обробка бічної поверхні.

Чорнова обробка

1. Інструмент переміщається коливальним рухом від лівого центру канавки з кутом занурення на першу глибину підведення. Стратегія занурення визначається параметром Q366.

2. ЧПК вибирає канавку в напрямку зсередини назовні з урахуванням припусків на чистову обробку (параметри Q368 і Q369).

3. Операція повторюється, поки не буде досягнута запрограмована глибина канавки.

Чистова обробка

1. Якщо визначені припуски на чистову обробку, ЧПК виконує спочатку чистову обробку стінки канавки. Підведення до стінки канавки здійснюється по дотичній.

2. ЧПК виконує чистову обробку дна кишені у напрямку зсередини назовні.

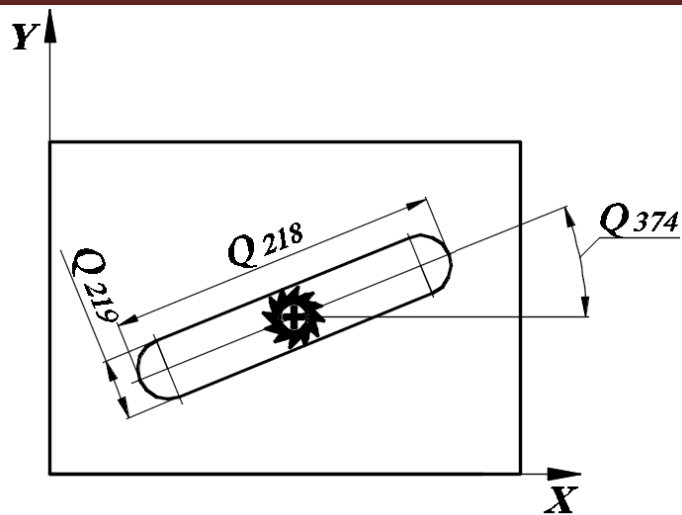


Рисунок 5.12 –Цикл Фрезерування канавок

Кадри УП:

8 CYCL DEF 253 Фрезерування канавок

Q215 = 0 Обсяг обробки

Q218 = 80 Довжина канавки

Q219 = 12 Ширина канавки

Q368 = 0.2 Припуск збоку

Q374 = +0 Положення обертання

Q367 = 0 Положення канавки

Q207 = 500 Подача фрезерування

Q351 = +1 Вид фрезерування

Q201 = -20 Глибина

Q202 = 5 Глибина врізання

Q369 = 0.1 Припуск на глибині

Q206 = 150 Подача врізання на глибину

Q338 = 5 Стан чистової обробки

Q200 = 2 Безпечна відстань

Q203 = +0 Координатна площина

Q204 = 50 2-га безпечна відстань

Q336 = 1 занурення

Q385 = 500 Подача чистової обробки

Q439 = 0 Базова подача

9 L X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99

5.3.4 Кругла канавка (цикл 254)

Хід циклу:

За допомогою циклу 254 можна повністю обробити круглу канавку. В залежності від параметрів циклу існують такі варіанти обробки:

- Повна обробка: чорнова обробка, чистова обробка бічної поверхні, чистова обробка дна.
- Тільки чорнова обробка.
- Тільки чистова обробка дна і чистова обробка бічної поверхні.
- Тільки чистова обробка дна.
- Тільки чистова обробка бічної поверхні.

Чорнова обробка

1. Інструмент переміщається коливальним рухом в центрі канавки з певним кутом занурення на першу глибину підведення. Стратегія занурення визначається параметром Q366.

2. ЧПК очищає канавку з середини назовні з урахуванням припусків на чистову обробку (параметри Q368 і Q369)

3. Система ЧПК відводить інструмент назад на безпечну відстань Q200. Якщо ширина виїмки відповідає діаметру фрези, система ЧПК після кожного підведення виймає інструмент з канавки.

4. Ця операція повторюється, поки буде досягнута глибина канавки.

Чистова обробка

1. Якщо визначені припуски на чистову обробку, ЧПК виконує спочатку чистову обробку стінки канавки. Якщо вказано, то декількома підводами. Підведення до стінки канавки здійснюється по дотичній.

2. ПЧПК виконує чистову обробку дна канавки у напрямку зсередини назовні.

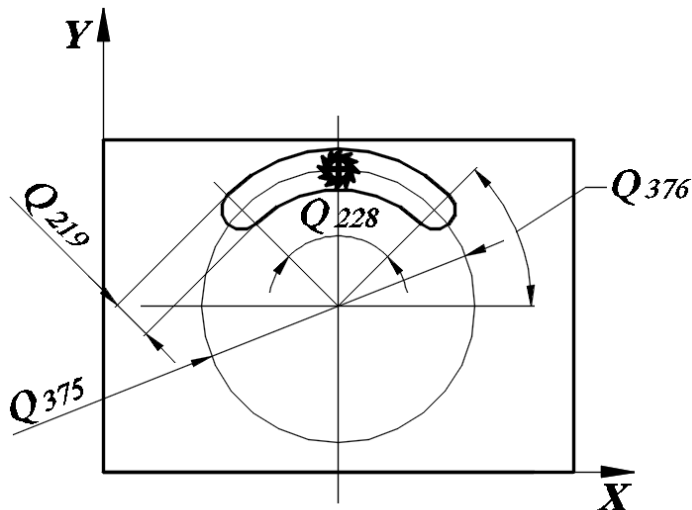


Рисунок 5.13 –Цикл Кругла канавка

Кадри УП:

8 CYCL DEF 254 Кругла виїмка

Q215 = 0	Обсяг обробки
Q219 = 12	Ширина виїмки
Q368 = 0.2	Припуск на стороні
Q374 = 80	Діаметр ділильної окружності
Q367 = 0	Основа для виїмки
Q216 = +50	Середина 1-ої осі
Q217 = +50	Середина 2-ої осі
Q376 = +45	Кут старту
Q248 = 90	Кут розчину
Q378 = 0	Крок кута

Q377 = 1	Кількість обробок
Q207 = 500	Подача фрезерування
Q351 = +1	Вид фрезерування
Q201 = -20	Глибина
Q202 = 5	Глибина підведення на врізання
Q369 = 0.1	Припуск на глибині
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q338 = 5	Стан чистової обробки
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q203 = +0	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q366 = 1	Занурення
Q385 = 500	Подача чистової обробки
Q439 = 0	Базова подача
9 L X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99	

5.3.5 Прямокутний острів (цикл 256)

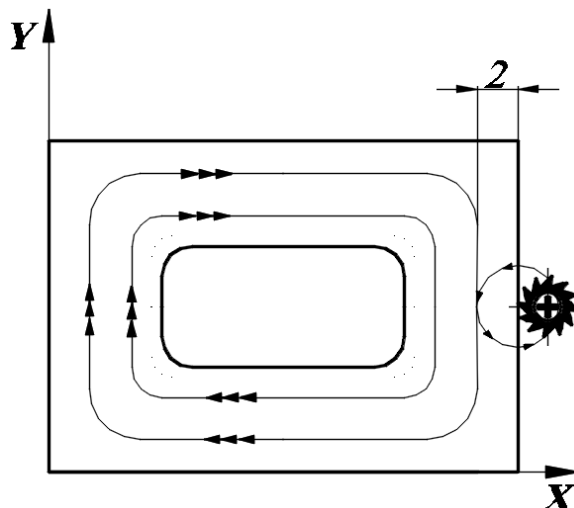


Рисунок 5.14 – Цикл Прямокутний острів

Хід циклу

За допомогою циклу 256 можна повністю обробити прямокутний острів. Якщо розмір заготовки більше максимального врізання збоку, то ЧПК виконує декілька врізань збоку до досягнення розміру готової деталі.

1. Інструмент переміщається з початкової позиції циклу (центру острова) в початкову позицію обробки острова. Стартова позиція визначається параметром Q437. Положення згідно зі стандартною установкою ($Q437 = 0$) знаходиться в 2 мм праворуч поруч з островом заготовки.

2. Якщо інструмент знаходиться на 2-ій безпечній відстані, система ЧПК робить переміщення на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань і звідти зі швидкістю подачі врізання переміщається на першу глибину врізання.

3. Потім інструмент переміщається по дотичній до контуру острова, виконуючи попутне фрезерування витка.

4. Якщо заданий розмір острова не можна досягти одним проходом, ЧПК повертає інструмент на поточну глибину врізання збоку і фрезерує ще один виток. Система ЧПК враховує при цьому розмір заготовки, розмір готової деталі і допустиме врізання збоку. Ця операція повторюється до тих пір, поки не буде досягнутий певний розмір готової деталі. У разі, якщо ви встановили точку старту на кут ($Q437 \neq 0$), ЧПК виконує фрезерування спіралеподібно від точки старту зсередини до тих пір, поки не буде досягнутий певний розмір готової деталі

5. Якщо задані інші врізання, то інструмент повертається в точку старту обробки по дотичній до контуру.

6. Інструмент переміщається на наступну глибину врізання і обробляє острів на цій глибині.

7. Операція повторюється, поки буде досягнута глибина острова.

8. В кінці циклу система ЧПК позиціонує інструмент на безпечну висоту по осі інструменту, задану в циклі. Таким чином кінцева позиція не збігається з початковою.

Кадри УП:

8 CYCL DEF 256 Прямокутний острів
Q218 = 60 Довжина 1 сторони
Q424 = 74 Розмір заготовки 1
Q219 = -40 Довжина 2 сторони
Q425 = 60 Розмір заготовки 2
Q220 = 5 Радіус кута
Q368 = 0.2 Припуск збоку
Q224 = +0 Положення обертання
Q367 = 0 Положення острову
Q207 = 500 Подача фрезерування
Q351 = +1 Вид фрезерування
Q201 = -20 Глибина
Q202 = 5 Глибина врізання
Q206 = 150 Подача врізання на глибину
Q200 = 2 Безпечна відстань
Q203 = +0 Координатна площина
Q204 = 50 2-га безпечна відстань
Q370 = 1 Накладення траєкторії
Q437 = 0 Позиція підвода
9L X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99

5.3.6 КРУГЛИЙ ОСТРІВ (257 Цикл)

Хід циклу:

За допомогою циклу 257 ЧПК створює круглий острів шляхом врізання по спіралі, відповідно до діаметра заготовки.

1. Якщо інструмент знаходиться в точці нижче 2-ої безпечної відстані, то ЧПК повертає його на 2-у безпечну відстань.
 2. Інструмент переміщається з центру острова в початкову позицію обробки острова. Встановить початкову позицію за допомогою полярного кута по відношенню до середини острова через параметр Q376.
 3. Система ЧПК виконує переміщення інструменту на прискореному ході F_{MAX} на безпечну відстань Q200 і звідти шляхом врізання на глибину переміщується на першу глибину врізання.
 4. ЧПК створює цілий острів шляхом врізання по спіралі, враховуючи при цьому коефіцієнт накладення.
 5. Система ЧПК відводить інструмент по дотичній на 2 мм від контуру.
 6. Якщо необхідні декілька подач на врізання, то нова подача на врізання реалізується в наступній найближчій точці руху відводу.
- Ця операція повторюється, поки не буде досягнута глибина острова.
- В кінці циклу система ЧПК позиціонує інструмент після відведення по дотичній вздовж осі інструменту на задану в циклі 2 безпечну відстань.

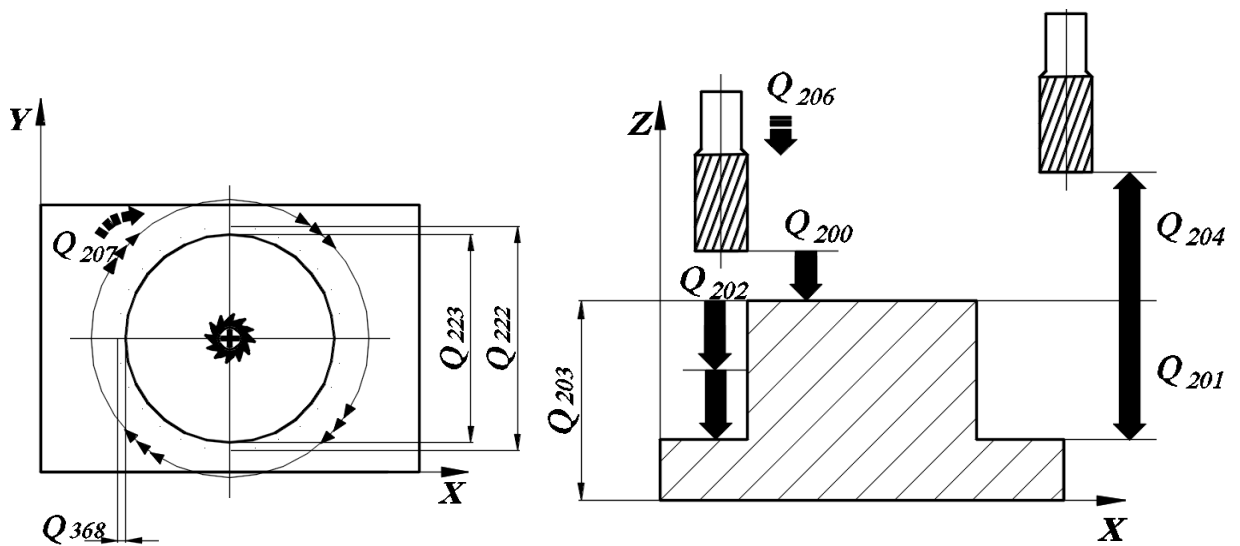


Рисунок 5.15 – Цикл Круглий острів

Кадри УП:

8 CYCL DEF 257 Круглий острів

Q223 = 60

Діаметр готової деталі

Q222 = 60	Діаметр заготовки
Q368 = 0.2	Припуск на стороні
Q207 = 500	Подача фрезерування
Q351 = +1	Вид фрезерування
Q201 = -20	Глибина
Q202 = 5	Глибина підведення на врізання
Q206 = 150	Подача врізання на глибину
Q200 = 2	Безпечна відстань
Q203 = 0	Координатна площина
Q204 = 50	2-га безпечна відстань
Q370 = 1	Накладання траєкторії
Q376 = 0	Кут старту
9L X+50 Y+50 R0 FMAX M3 M99	

5.3.7 Фрезерування площин (цикл 233)

Хід циклу

За допомогою циклу 233 можна виконати плоске фрезерування рівної поверхні в декілька врізань і з урахуванням припуску на чистову обробку. Додатково ви можете визначити в циклі бічні стінки, які потім будуть враховуватися при обробці площин. У циклі можливі наступні стратегії обробки:

Стратегія Q389 = 0 - обробка в формі меандру, врізання збоку поза оброблюваною поверхнею.

Стратегія Q389 = 1 - обробка в формі меандру, врізання збоку по краях оброблюваної поверхні.

Стратегія Q389 = 2 - порядкова обробка з перебігом, врізання з боку відводу на прискореному ході.

Стратегія Q389 = 3 - порядкова обробка без перебігу, врізання з боку відводу на прискореному ході.

Стратегія Q389 = 4 - спіральна обробка зовні всередину

Кадри УП:

8 CYCL DEF 233 Фрезерування поверхні

Q215 = 0 Обсяг обробки

Q389 = 2 Стратегія фрезерування

Q350 = 1 Напрямок фрезерування

Q218 = 120 Довжина 1-ої сторони

Q219 = 80 Довжина 2-ої сторони

Q227 = 0 Точка старту 3-ї осі

Q386 = -6 Остання точка 3-ї осі

Q369 = 0.2 Припуск на глибину

Q202 = 3 Максимальна глибина врізання

Q370 = 1 Перекривання траєкторії

Q207 = 500 Подача фрезерування

Q385 = 500 Подача чистової обробки

Q253 = 750 Подача перед позиції

Q357 = 2 Безпечна відстань зі сторони

Q200 = 2 Безпечна відстань

Q204 = 50 2-га безпечна відстань

Q347 = 0 1-е обмеження

Q348 = 0 2-е обмеження

Q349 = 0 3-є обмеження

Q220 = 2 Радіус кута

Q368 = 0 Припуск збоку

Q338 = 0 Стан чистової обробки

9 L X0 Y0 R0 FMAX M3 M99

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руководство пользователя Heidenhain. TNC 640
<https://www.Heidenhain.ua/>
 2. TNC 640. Руководство пользователя «Диалог открытым текстом HEIDENHAIN» [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа до ресурсу:
http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-02/bhb/892903-R0.pdf
 3. TNC 640. Руководство пользователя. Программирование циклов – 2013.
– Режим доступа до ресурсу:
http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-02/zyklen/892905-R0.pdf
 4. Металорізальні верстати. / Под ред. В.Е. Пуша. М.: Машинобудування, 1986. - 564 с.
 5. Гжіров Р.І. та ін. Програмування обробки на верстатах з ЧПК. Довідник. - М.: Машинобудування, 1990. - 670 с.
 6. Кузнєцов Ю.М. Верстати з ЧПК. - Київ.- 2000.- 312с.
 7. Автоматизована підготовка програм для верстатів з ЧПК, Довідник /Р.Е.Сафрагон і др.-К.: Техніка, 1986.- 191 с.
 8. Керування ДПтС: Модель і алгоритми / Под ред. С.В. Ємельянова. М.: Машинобудування, 1987. - 368 с.
 - 9 Довідник технолога-машинобудівника: У 2-х т. / Под ред. А.Г. Косилової і Р.К. Мещерякова. - М .: Машинобудування, 1985. т.1, - 496 с .; т.2 - 496 с.
 10. Довідник інструментальника / Под ред. І.А. Ордінарцева і ін. Л.: Машинобудування, 1987. - 846 с.
 11. Кузнєцов Ю.И. Технологічне оснащення в верстатів з програмним керуванням. - М.: Машинобудування, 1976. - 224 с.
-